

Die rekursive Anwendung von (2) auf der Basis von Bild 2 führt in Verbindung mit der Variierung der Zuverlässigkeitsgrenzbedingungen und des Gestaltungsniveaus zu den im Bild 3 dargestellten Abhängigkeiten. Danach kann aus dem mittleren Maßnahmeabstand auf die ökonomische Gesamtbetriebszeit geschlossen werden.

### Schlußbemerkungen

Wiederholt wurde in der letzten Zeit festgestellt, so u.a. in [4], daß Probleme des störungsfreien Betriebes von Anlagen in der Einheit von Zuverlässigkeit und Instandhaltung zu lösen sind. Sowohl die Vernachlässigung der einen als auch der anderen Seite kann zu erheblichen ökonomischen Verlusten führen. In dem vorliegenden Beitrag wurde der in [3] begonnene Weg fortgesetzt. Die Berechnungen stützen sich zunächst nur auf ein hinreichendes Zahlenmaterial. Es erweist sich aber im zunehmenden Maß als notwendig, und das wird auch in den Vorbemerkungen in [5] dargelegt, auch wenn kein ausreichendes Zahlenmaterial vorliegt, zumindest auf der Basis von Näherungen, Zusammenhänge zu erfassen, um systematisch bei der hier anstehenden Problematik vorgehen zu können. Der Beitrag soll zu weiterer Diskussion Anlaß geben.

### Literatur

- [1] DDR-Standard TGL 26096/01, Ausg. 1/1978 Zuverlässigkeit in der Technik, Begriffe
- [2] Beyer, Werner: Zuverlässigkeit technischer Systeme. Die Technik 33 (1978) 11
- [3] Buschmann, H.; Hollan, J.; Schmidt, K.: Vorschlag zur Klassifizierung lüftungstechnischer Anlagen nach Prinzipien der Zuverlässigkeit. Luft- und Kältetechnik 21 (1985) 3, S.144—147
- [4] Marx: Zuverlässigkeit in Konstruktion und Produktion. VDI-Berichte Nr. 895 (1981)
- [5] Koslow, Vschakov: Handbuch zur Berechnung der Zuverlässigkeit. Berlin: Akademie-Verlag 1978

LKT 532 25. 2. 1986



## Einfluß der freien Lüftung auf die Außenluftversorgung von Stallbauten<sup>1)</sup>

Weier, H.<sup>2)</sup>

In der Folge von Überlegungen zum vernünftigen Umgang mit Energieträgern erfährt auch die freie Lüftung von Stallbauten wieder die ihr zweifelsohne zukommende Aufmerksamkeit. Dabei findet derzeit die Höhe des Außenluftdurchsatzes besonderes Interesse. Das gilt sowohl für die rein freie Lüftung als auch für eine Überlagerung von freier Lüftung und Zwangslüftung. Wurde doch festgestellt, daß einerseits in Abluftschächten Luftgeschwindigkeiten auftreten, die wesentlich über den theoretisch ermittelten Werten liegen. Andererseits fühlen sich die Hersteller lüftungstechnischer Anlagen, zumindest bei Stallbauten, vor allem dem Garantieparameter Außenluftstrom verpflichtet.

Es erscheint damit notwendig, sowohl die zur Bemessung von Einrichtungen zur freien Lüftung vorhandenen Grundlagen hinsichtlich ihrer Brauchbarkeit zu überprüfen, als auch eine Erweiterung dieser Bemessungsgrundlagen entsprechend den sich neu ergebenden Fragestellungen vorzunehmen. Hierbei sind zwei Problemkreise näher zu betrachten: Zum einen die Auslegung der Einrichtungen zur freien Lüftung bei Wirkung von Auftrieb, Wind und mechanischer Lüftungsanlage und zum anderen

die Überprüfung der Wirkung aller drei Einflüsse auf die Durchströmung eines vorhandenen Stallgebäudes. An dieser Stelle sollen nur Fragen der Auslegung untersucht werden. Die Nachrechnung gegebener Gebäude wird Gegenstand einer weiteren Veröffentlichung sein.

Sollen bei einer Bemessung der Lüftungsflächen mehrere Antriebskräfte gemeinsam berücksichtigt werden, führt die bisher übliche Methode, die nur vom Auftrieb als Antriebskraft ausgeht, nicht weiter. Es wird auch hier notwendig, eine Netzwerkberechnung, wie sie für Strömungsprobleme in Wohngebäuden oder Industriehallen gebräuchlich ist, vorzunehmen. Stallgebäude sind strömungstechnisch recht einfache Gebilde. Damit ergeben sich auch relativ einfache Lösungen zum Beschreiben der in ihnen ablaufenden Vorgänge. Deren optimale Handhabung verlangt jedoch die Nutzung eines Personalcomputers. Nur für Spezialfälle lassen sich Näherungsbeziehungen in Form expliziter Gleichungen angeben. Der allgemeine Fall sollte besser gerechnet werden. Er ist aber für die üblichen Stallbauten mit Hilfe von Arbeitsblättern hinreichend genau zu lösen.

### Beschreibung der Strömungsvorgänge

Strömungstechnisch kann ein mit einer zur freien Lüftung geeigneten Dachausbildung (Firstschlitz, Einzelschächte, Stufendach und bedingt auch Monoschacht) ausgestattetes Stallgebäude als eine Sternschaltung dreier Durchlässigkeiten angesehen werden (Bild 1). Zwischen ihren äußeren Knotenpunkten bestehen durch Auftrieb und Wind hervorgerufene Druckunterschiede ( $\Delta P_W$ ,  $\Delta p_{WD}$ ,  $\Delta p_A$ ). Im Sternpunkt wird die Luftmenge  $\dot{V}_M$  durch die Lüftungsanlage zugeführt. Aus den in jedem Netzwerk gültigen Beziehungen für die Ströme an den Knotenpunkten

$$\sum \dot{V}_j = 0 \quad (1)$$

die Potentialunterschiede in den Maschen

$$\sum \Delta p_j = 0 \quad (2)$$

und die Durchströmung der Zweige

$$\dot{V} = G \cdot \Delta p^n \quad (3)$$

können allgemeine, die Strömungsvorgänge in dem im Bild 1 dargestellten Netzwerk beschreibende Gleichungen abgeleitet werden.

Der Aufbau dieser Gleichungen ergibt sich in Abhängigkeit von den gewählten Auslegungsbedingungen. Für diese lassen sich zwei unterschiedliche Fälle formulieren:

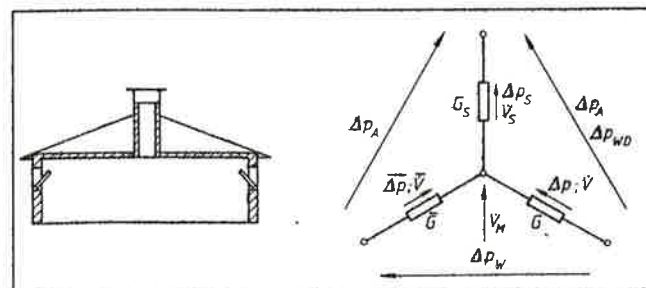
#### Fall 1

Der Auftriebseinfluß bestimmt die Strömung. Es kann davon ausgegangen werden, daß, analog zur derzeitigen Bemessung der Lüftungsöffnungen, die durch den Schacht bzw. die im Dach liegenden Lüftungsöffnungen entweichende Luftmenge ( $\dot{V}_S$ ) gleich der entsprechend der Stallbelegung benötigten Luftmenge ( $\dot{V}_T$ ) sei:  $\dot{V}_T = \dot{V}_S$ .

#### Fall 2

Der Windeinfluß bestimmt die Strömung. Die entsprechend der Stallbelegung erforderliche Luftmenge wird über die Lüftungsanlage ( $\dot{V}_M$ ) und die luvseitigen Lüftungsöffnungen ( $\dot{V}$ ) zugeführt:  $\dot{V}_T = \dot{V} + \dot{V}_M$ .

Bild 1. Schaltbild der Strömungswiderstände



<sup>1)</sup> Erweiterte Fassung eines Vortrages zur 9. Fachtagung Lüftungs- und Klimatechnik vom 1. 4. bis 3. 4. 1986 in Dresden

<sup>2)</sup> Dr.-Ing. Weier, H., Fachgebietsleiter, Bezirksinstitut für Veterinärwesen Dresden

Der Fall 1 entspricht im allgemeinen der Auslegung unter Winter- bzw. Übergangsbedingungen, der Fall 2 der Auslegung für Sommerbedingungen. Bei entsprechenden Voraussetzungen ist der Fall 2 eventuell auch für die Auslegung unter Übergangsbedingungen anzuwenden.

### Dominierende Auftriebswirkung (Fall 1)

Bestimmt der Einfluß des Auftriebs die Durchströmung des Stallgebäudes, ist es vorteilhaft, beim Aufstellen der allgemeinen Gleichung vom Druckunterschied über dem Schacht ( $\Delta p_s$ ) auszugehen. Aus den Gln. (1) bis (3) folgt dann für das Netzwerk

$$G_s \cdot \Delta p_s^n = G (\Delta p_{WD} + \Delta p_A - \Delta p_s)^n + \bar{G} (\Delta p_{WD} - \Delta p_W + \Delta p_A - \Delta p_s)^n + \dot{V}_M \quad (4)$$

Diese Gleichung ist nur iterativ zu lösen, da  $n$  allgemein verschieden von 1 ist. Die in ihr verwendete Größe  $G$  kennzeichnet die Durchlässigkeit aller an den einzelnen Gebäudeseiten vorhandenen Lüftungsflächen. Die Struktur der Durchlässigkeit ist ebenso wie der Wert des Exponenten  $n$  von der Art der Strömung in den Lüftungsöffnungen — turbulente Strömung, Einlaufströmung, laminare Strömung — abhängig.

Unter bestimmten Voraussetzungen und mit verschiedenen Annahmen kann man Gl. (4) in eine Beziehung zum Bemessen der Lüftungsflächen umformen.

- Die Durchlässigkeiten auf Luv- und Leeseite sind gleich:  $G = \bar{G}$ .
- Die Lüftungsflächen werden turbulent durchströmt:  $n = 0,5$ . Die Größe der Durchlässigkeit ergibt sich dann zu

$$G = A \left( \frac{2}{\rho \cdot \zeta} \right)^{0,5} \quad (5)$$

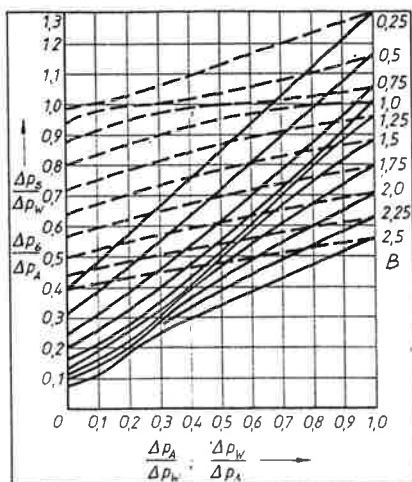


Bild 2  
Bestimmung des  
Druckunterschiedes  
über der Abluftfläche

$$B = 2 \left( \frac{\zeta}{\zeta_s} \right)^{0,5} \left( 1 - \frac{\dot{V}_M}{\dot{V}_T} \right)$$

$$\text{---} \frac{\Delta p_s}{\Delta p_W} = f \left( \frac{\Delta p_A}{\Delta p_W} \right)$$

$$\text{---} \frac{\Delta p_s}{\Delta p_A} = f \left( \frac{\Delta p_W}{\Delta p_A} \right)$$

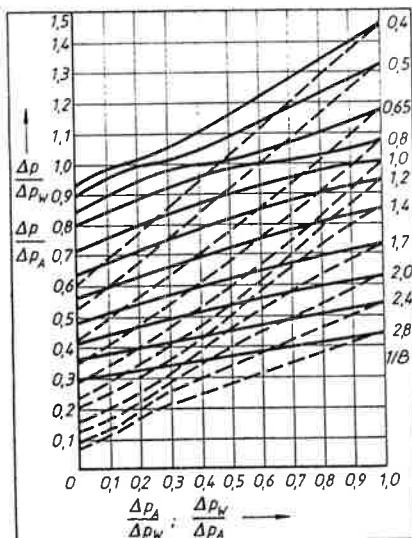


Bild 3  
Bestimmung des Druck-  
unterschiedes über der  
luvseitigen Zuluftfläche

$$1/B = \frac{1}{2} \left( \frac{\zeta_s}{\zeta} \right)^{0,5} \left( \frac{\dot{V}_T}{\dot{V}_T - \dot{V}_M} \right)$$

$$\text{---} \frac{\Delta p}{\Delta p_W} = f \left( \frac{\Delta p_A}{\Delta p_W} \right)$$

$$\text{---} \frac{\Delta p}{\Delta p_A} = f \left( \frac{\Delta p_W}{\Delta p_A} \right)$$

- Die Summe der Lüftungsflächen an den Gebäudeseiten sei gleich der Größe der Lüftungsflächen des Daches  $A_s = A + \bar{A}$ . Damit wird, Gleichheit der Widerstandsbeiwerte der luv- und leeseitig orientierten Lüftungsflächen vorausgesetzt,

$$\frac{G_s}{G} = 2 \left( \frac{\zeta}{\zeta_s} \right)^{0,5}$$

- Die durch den Wind zwischen Luvseite und Dach hervorgerufene Druckdifferenz ( $\Delta p_{WD}$ ) sei gleich der Druckdifferenz zwischen Luv- und Leeseite ( $\Delta p_W$ ):  $\Delta p_{WD} = \Delta p_W$ . Das trifft für den Monoschacht nur bedingt zu.

Unter Berücksichtigung der den Fall 1 charakterisierenden Bedingung  $\dot{V}_s = \dot{V}_T$ , geht damit Gl. (4) in die Form

$$2 \left( \frac{\zeta}{\zeta_s} \right)^{0,5} \cdot \left( 1 - \frac{\dot{V}_M}{\dot{V}_T} \right) \cdot \Delta p_s^{0,5} = (\Delta p_W + \Delta p_A - \Delta p_s)^{0,5} + (\Delta p_A - \Delta p_s)^{0,5} \quad (6)$$

über. Aus ihr ist der über der im Dach vorhandenen Lüftungsfläche auftretende Druckunterschied  $\Delta p_s$  zu bestimmen. Sollen alle drei Einflüsse: Wind, Auftrieb und mechanische Lüftungsanlage, oder auch nur Wind und Auftrieb gemeinsam in ihrer Wirkung berücksichtigt werden, dann ist Gl. (6) auszuwerten. Dazu dient Bild 2, in dem für den real existierenden Wertebereich der Größe

$$B = 2 \left( \frac{\zeta}{\zeta_s} \right)^{0,5} \cdot \left( 1 - \frac{\dot{V}_M}{\dot{V}_T} \right)$$

Lösungen der Gl. (6) in der Form  $\Delta p_s / \Delta p_W = f(\Delta p_A / \Delta p_W)$  bzw.  $\Delta p_s / \Delta p_A = f(\Delta p_W / \Delta p_A)$  angegeben sind. Ist nur das Zusammenwirken eines der natürlichen Einflüsse mit der mechanischen Lüftung zu betrachten, so läßt sich  $\Delta p_s$  direkt bestimmen. Es gelten

$$\text{für } \Delta p_W = 0 \quad \Delta p_s = \frac{\Delta p_A}{\left( 1 - \frac{\dot{V}_M}{\dot{V}_T} \right)^2 \frac{\zeta}{\zeta_s} + 1} \quad (6a)$$

$$\text{und für } \Delta p_A = 0 \quad \Delta p_s = \frac{\Delta p_W}{\left[ 1 + 2 \left( \frac{\zeta}{\zeta_s} \right)^{0,5} \left( 1 - \frac{\dot{V}_M}{\dot{V}_T} \right) \right]^2 + 1} \quad (6b)$$

Mit Hilfe der  $\Delta p_s$ -Werte ist aus Gl. (3) die Durchlässigkeit der im Dach anzuordnenden Lüftungsfläche und damit aus Gl. (5) ihre Größe zu bestimmen. Gl. (6b) stellt, ungeachtet der Definition des Falles 1, eine mögliche Lösung der Gl. (4) dar und wurde deshalb mit angeführt. Das Analoge gilt im Fall 2 für Gl. (8a).

### Dominierende Windwirkung (Fall 2)

Zur Formulierung der die Strömungsvorgänge im Netzwerk beschreibenden Gleichung ist es in diesem Fall zweckmäßig, vom Druckunterschied über den luvseitigen Lüftungsöffnungen ( $\Delta p$ ) auszugehen. Man erhält dann eine Beziehung

$$G \cdot \Delta p^n = G_s (\Delta p_{WD} + \Delta p_A - \Delta p)^n - \bar{G} (\Delta p - \Delta p_W)^n - \dot{V}_M \quad (7)$$

Diese Gleichung läßt sich unter den bereits angeführten Voraussetzungen bei Berücksichtigung der hier bestimmenden Bedingung  $\dot{V}_T = \dot{V} + \dot{V}_M$ , umformen zu

$$\left( \frac{\dot{V}_T}{\dot{V}_T - \dot{V}_M} \right) \cdot \Delta p^{0,5} = 2 \left( \frac{\zeta}{\zeta_s} \right)^{0,5} (\Delta p_W + \Delta p_A - \Delta p)^{0,5} - (\Delta p - \Delta p_W)^{0,5} \quad (8)$$

Mit ihr kann der über den luvseitigen Lüftungsflächen herrschende Druckunterschied  $\Delta p$  bestimmt werden. Für das Zusammenwirken eines der natürlichen Einflüsse mit der mechanischen Lüftung sind auch hier explizite Lösungen möglich. Es wird

$$\text{für } \Delta p_W = 0 \quad \Delta p = \frac{\Delta p_A}{\frac{1}{4} \left( \frac{2 \dot{V}_T - \dot{V}_M}{\dot{V}_T - \dot{V}_M} \right)^2 \cdot \left( \frac{\zeta}{\zeta_s} \right) + 1} \quad (8a)$$

$$\text{und für } \Delta p_A = 0 \quad \Delta p = \frac{\Delta p_W}{\left[ \frac{\dot{V}_T}{(\dot{V}_T - \dot{V}_M) \left( 1 + 2 \left( \frac{\zeta}{\zeta_s} \right)^{0,5} \right)} \right]^2 + 1} \quad (8b)$$

Sind alle drei Einflüsse oder nur Wind- und Auftriebsinfluß zu überlagern, ist Gl. (8) zu lösen. Das kann näherungsweise mit Hilfe des Bildes 3 vorgenommen werden. In dieser Darstellung wurde der reziproke Wert der Größe  $B$  als Parameter gewählt. Für einen Wert des Parameters  $1/B$  liefert Gl. (8) einen Bereich von Lösungen, dessen Breite durch die Größe der Verhältnisse  $\zeta/\zeta_s$  und  $\dot{V}_M/\dot{V}_T$  bestimmt wird.

Im Bild 3 sind die Mittelwerte der sich für reale Kombinationen dieser Verhältnisse ergebenden Bereiche aufgetragen. Die aus dem Diagramm abgelesenen Druckunterschiede können deshalb um bis zu  $\pm 20\%$  vom berechneten Wert abweichen. Der sich daraus für die Flächenbemessung ergebende Fehler beträgt  $\Delta A = \pm 10\%$ . Eine Genauigkeit, die, bei der Unsicherheit der den Vorgang der freien Lüftung bestimmenden meteorologischen Faktoren, wohl ausreichend ist.

### Bemessung der Lüftungsflächen

Zur Bemessung der Lüftungsflächen ist von den verschiedenen Lösungen der Gln. (4) oder (7) auszugehen. Zu deren Auswertung müssen die meteorologischen Auslegungsbedingungen bekannt sein oder festgelegt werden. Sie bestimmen die Größe der treibenden Druckunterschiede – des Auftriebsdruckes

$$\Delta p_A = g \cdot H (\varrho_a - \varrho_i) \quad (9)$$

und des Winddruckes

$$\Delta p_W = 1,3 \frac{w^2 \cdot \varrho_a}{2} \quad (10)$$

Der Faktor 1,3 in Gl. (10) steht für einen mittleren Druckbeiwert des Stallgebäudes. Er ist bei Vorliegen besserer Werte zu korrigieren. Liegt die Größe der mechanisch zu fördernden Luftmenge fest, kann, je nachdem welcher Auslegungsfall interessiert, der Druckunterschied über den Abluftflächen ( $\Delta p_s$ ) oder der Druckunterschied über den luvseitigen Zuluftflächen ( $\Delta p$ ) aus den entsprechenden Beziehungen bzw. Bildern bestimmt werden. Mit diesem Druckunterschied läßt sich anhand der Gln. (3) und (5) die Größe der Lüftungsflächen ermitteln. Es gilt

$$\text{im Fall 1} \quad A_s = \dot{V}_T \sqrt{\frac{\varrho_i \cdot \zeta_s}{2 \cdot \Delta p_s}}; \quad \bar{A} = A = A_s/2$$

$$\text{im Fall 2} \quad A = (\dot{V}_T - \dot{V}_M) \sqrt{\frac{\varrho_a \cdot \zeta}{2 \cdot \Delta p}}; \quad \bar{A} = A; \quad A_s = 2A$$

Die zur Berechnung benötigten Widerstandsbeiwerte der Lüftungsflächen können der Standardliteratur (z.B. [6] [7]) entnommen werden. Eventuell sind die Widerstandsbeiwerte für Abluftelemente, ausgehend von bekannten Einzelwiderständen, näherungsweise zu bestimmen.

Stellt man fest, daß, bei Annahme des Auslegungsfalles 1, im Ergebnis der Berechnung  $\Delta p_s > \Delta p_A$  wird, kann die Dimensionierung der Lüftungsflächen nach Fall 2 vorgenommen werden. Umgekehrt ist anstelle von Fall 2 nach Fall 1 zu verfahren, wenn sich Druckdifferenzen  $\Delta p > \Delta p_W$  ergeben.

### Übergangsbedingungen

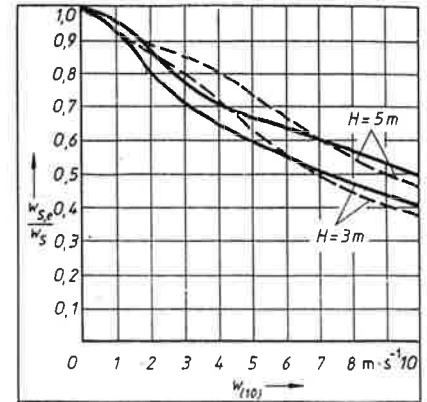
Die Auslegung einer Schachtlüftung wird gewöhnlich für Übergangsbedingungen, eine Außenlufttemperatur von  $t_a = 8^\circ\text{C}$ , vorgenommen. Der Versuch, hierbei den Einfluß des Windes zu berücksichtigen, bringt einige Probleme mit sich, die über die formale Berechnung hinausgehen und im Rahmen dieses Beitrages nicht endgültig zu klären sind.

Linearisiert man die Kurven im Bild 2, so lassen sie sich im Bereich  $1,25 < B < 2,5$  durch die Beziehung

$$\Delta p_s = (1,12 - 0,278 B) \Delta p_A + (0,237 - 0,042 B) \Delta p_W \quad (11)$$

annähern. Diese Beziehung bietet sich vor allem zur gemeinsamen Berücksichtigung von Wind- und Auftriebswirkung an, da sich Werte  $B > 1,25$  hauptsächlich dann ergeben, wenn der mechanisch geförderte Volumenstrom  $\dot{V}_M = 0$  ist. Der bei Anwendung dieser Gleichung gegenüber der exakten Rechnung entstehende Fehler bleibt im Bereich von  $\Delta(\Delta p_s) = \pm 20\%$ . Wie aus Gl. (11) hervorgeht, wird nur etwa ein Fünftel des vom Wind über dem Gebäude hervorgerufenen Differenzdruckes als Druckdifferenz über dem Dach wirksam. Vier Fünftel dieses den Luftdurchsatz bestimmenden Druckunterschiedes erzeugt der Auf-

Bild 4  
Luftgeschwindigkeit  
im Abluftelement  
Stalllufttemperatur  
 $t_i = 20^\circ\text{C}$ ,  
Außenlufttemperatur  
 $t_a = 8^\circ\text{C}$ ,  
Widerstandsbeiwert  
der Zuluftöffnungen  
 $\zeta = 2,6$   
—  $B = 2,5$   
- - -  $B = 1,25$



trieb. Trotzdem kann der Winddruck, da er im allgemeinen wesentlich über dem für Auslegungsbedingungen anzunehmenden Auftriebsdruck liegt, von beträchtlichem Einfluß auf die geförderte Luftmenge sein.

Dieser Einfluß ist im Bild 4 am Beispiel der im Abluftelement in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit ( $w_{10}$ ) auftretenden Luftgeschwindigkeit ( $w_s$ ) dargestellt. Sie wurde dabei auf die sich bei einer Stalllufttemperatur von  $t_i = 20^\circ\text{C}$  durch alleinige Auftriebswirkung ergebende Geschwindigkeit ( $w_{s,0}$ ) bezogen. Der Berechnung des Winddruckes liegt eine Traufhöhe des Gebäudes von  $H_G = 3\text{ m}$  zugrunde.

Das Verhältnis der Geschwindigkeiten  $w_{s,0}/w$  stellt gleichzeitig das Verhältnis dar, in dem die Lüftungsfläche vermindert werden kann, wenn man die Wirkung des Windes bei der Bemessung dieser Flächen berücksichtigt. Wie im Bild 4 dargestellt, ließe sich beispielsweise unter den angenommenen Bedingungen bei mittleren Luftgeschwindigkeiten die Lüftungsfläche auf etwa 70 % gegenüber der Größe verringern, die sie bei herkömmlicher Auslegung aufweisen müßte. Eine solche Verkleinerung birgt aber das Risiko einer zeitweilig unzureichenden Außenluftversorgung in sich. Unter Beachtung dieses Risikos könnte, ausgehend von den hier dargelegten Zusammenhängen, die Bemessung der Einrichtungen zur freien Lüftung auch mit Berücksichtigung des Windeinflusses vorgenommen werden.

Im Anwendungsbereich des Falles 2 ließe sich die Lüftungsfläche unter die aus Bild 4 abzuleitenden Werte verringern. Dadurch würden allerdings auch die Außenluftströme bei Windgeschwindigkeiten unterhalb des Auslegungspunktes weiter herabgesetzt.

### Sommerbedingungen

Für Sommerbedingungen ist die Überlagerung der Arbeit einer mechanischen Lüftungsanlage durch die Windwirkung von besonderem Interesse. Die Lüftungsöffnungen sind in diesem Fall ausgehend von Gl. (8b) zu bemessen.

Da im Sommer der Auftrieb von vornherein zu vernachlässigen ist, kann die bei der Gleichungsentwicklung gestellte Bedingung  $A_s = 2A$  außer acht gelassen und statt dessen  $A_s = 0$  gesetzt werden. Das entspricht auch der üblichen Auffassung, nach der sich die freie Lüftung eines Stalles im Sommer durch Querlüftung realisiert und demzufolge als Lüftungsöffnungen nur Öffnungen in den luv- und leeseitig orientierten Wänden anzusetzen sind. Um Gl. (8b) dieser Bedingung anzupassen, erhält der Widerstandsbeiwert der Dachöffnung den Wert  $\zeta_s = \infty$ . Damit ergibt sich die Größe der Zuluftöffnung für rein freie Lüftung zu

$$A_0 = \dot{V}_T \sqrt{\frac{\varrho_a \cdot \zeta}{\Delta p_W}}$$

Das Verhältnis der bei Überlagerung von mechanischer Lüftung benötigten Zuluftfläche zu der bei rein freier Lüftung erforderlichen wird

$$\frac{A}{A_0} = \left(1 - \frac{\dot{V}_M}{\dot{V}_T}\right) \sqrt{\frac{1}{2} \left[1 + \left(\frac{1}{1 - \dot{V}_M/\dot{V}_T}\right)^2\right]}$$

Dieses Verhältnis geht gegen  $A/A_0 = \sqrt{0,5}$ , wenn der Anteil der mechanisch geförderten Luftmenge an der erforderlichen Außenluftmenge  $\dot{V}_M/\dot{V}_T = 1$  wird. Man muß also, wenn die mechanische Lüftung durch freie Lüftung ergänzt werden soll oder umgekehrt, die Lüftungsöffnungen so dimensionieren, daß sie

mindestens 70 % der Fläche aufweisen, die bei freier Lüftung erforderlich wären. Die Ursache dafür ist die Wirkung der mechanischen Lüftung, die der frei einströmenden Luftmenge entgegensteht. Durch sie verringert sich der Druckunterschied zwischen Luvseite und Gebäudeinnerem. Die Größe der Lüftungsfläche muß dieser Verringerung Rechnung tragen. Sie läßt sich demzufolge nur im geeigneten Bereich verändern, wenn durch die Wirkung des Windes noch eine bestimmte Außenluftmenge gefördert werden soll.

### Bezeichnungen

$A, \bar{A}, A_S$	Fläche, luvseitig, leeseitig, im Dach
$B$	Parameter zur Berücksichtigung der Volumenstrom- und Widerstandsverhältnisse
$G, \bar{G}, G_S$	Durchlässigkeit, luvseitig, leeseitig, im Dach
$H$	wirksame Auftriebshöhe
$\dot{V}, \bar{V}, \dot{V}_S$	Volumenstrom, luvseitig, leeseitig, im Dach
$\dot{V}_T, \dot{V}_M$	Volumenstrom, erforderlicher, mechanisch geförderter
$g$	Erdbeschleunigung
$w_S, w(10)$	Geschwindigkeit der Abluft und des Windes in 10 m Höhe über dem Erdboden
$\Delta p, \Delta p, \Delta p_S$	Druckunterschied, luvseitig, leeseitig, über dem
$\Delta p_A, \Delta p_W$	Dach, durch Auftrieb, durch Wind hervorgerufen
$\Delta p_{WD}$	
$\zeta, \zeta_S$	Widerstandsbeiwert der luvseitig und der im Dach liegenden Lüftungsöffnungen
$\rho, \rho_i, \rho_a$	Dichte der Stolluft und der Außenluft

### Literatur

- [1] Gids, W. F. de: Calculation method for the natural ventilation of buildings. Publication nr. 633 of the TNO Research Institute for Environmental Hygiene. Delft, 1977
- [2] Richter, W.: Bemessung lufttechnischer Anlagen unter Berücksichtigung des Auftriebes. Dissertation B, TU Dresden, 1981
- [3] Weier, H.: Berechnung der Strömungsvorgänge in mehrgeschossigen Gebäuden. Luft- und Kältetechnik 17 (1981) 2, S. 93—98; 3, S. 150—152
- [4] Dietze, L.: Freie Lüftung von wärmeintensiven Betrieben. Projektierungsrichtlinie. Bauforschung — Baupraxis Heft 147 (1984)
- [5] Dietze, L.: Ein Beitrag zur Berechnung der freien Lüftung von Industriehallen. Stadt- und Gebäudetechnik 39 (1985) 8, S. 124—126
- [6] Baturin, V. P.: Fundamentals of industrial ventilation. Oxford, 1972
- [7] ILKA-Berechnungskatalog. Dresden ab 1973

LKT 533 19. 2. 1986

## Emittenten und Reinigungsverfahren für gasförmige Emissionen von Ozon

Von Nikonorov, A. N.: Moskva: Cintikhimneftemash (1985), 25 Seiten, 76 Lit.

Einleitend werden einige ökologische Aspekte bei der Reinigung von gasförmigen Emissionen von Ozon behandelt und die Emittenten und Charakteristik von ozonhaltigen gasförmigen Auswürfen erläutert.

Bei der Betrachtung der Reinigungsverfahren für gasförmige Emissionen von Ozon werden die thermische und katalytische Zersetzung und die Reinigungsreagenz ausführlich dargelegt. Es folgen Beschreibungen von katalytischen Apparaten zur Reinigung gasförmiger Emissionen von Ozon, wobei Apparate aus der BRD, Japan, den USA und der UdSSR vorgestellt und technische Parameter von einigen angegeben werden. Industrielle Erprobungen ergaben, daß die sowjetischen Apparate einfach im Aufbau und zuverlässig im Betrieb sind und eine 100 %ige Reinigung von Ozon gewährleisten.

Abschließend werden Erfahrungen beim industriellen Betrieb von katalytischen Geräten wiedergegeben und Hinweise für die Auswahl korrosionsbeständiger Konstruktionsmaterialien für die Gerätegestaltung von Gasreinigungsanlagen gegeben. Der Autor schlußfolgert, daß es eine allgemeine Tendenz in der Entwicklung von Systemen der Reinigung von Emissionen ist, die Ausarbeitung, Vervollkommen und Einführung effektiver Methoden und Apparate unter Berücksichtigung der Vielfalt der Emittenten sowohl hinsichtlich der quantitativen als auch der qualitativen Zusammensetzung der ozonhaltigen Emissionen durchzuführen.

B. Josten LKT 1

## Berechnung der inneren Wärmelast aus nutzungsbedingter Maschinenwärmebelastung<sup>1)</sup>

Korneli, E.<sup>2)</sup>

In weiten Bereichen der Produktions- und Gesellschaftsbauten ist die innere Wärmelast die Hauptkomponente der gesamten Wärmelast. Durch intensive Nutzung der technologischen Einrichtungen im Industriebau und zunehmend höhere spezifische Antriebsleistungen der Maschinen wird eine Steigerung der Wärmebelastung zu erwarten sein.

Die z. Z. bekannten Berechnungsmethoden für die innere nutzungsbedingte Wärmelast durch Maschinenwärmebelastung [1] berücksichtigt Speichervorgänge überhaupt nicht, oder sie gehen von einer sprungförmigen Wärmebelastung nach dem Einschalten der Maschinen aus. Sie berücksichtigen auch nicht den Wärmetransport zwischen Maschine und Baukörper, wenn dieser durch Wärmeleitung erfolgt. Durch die Nichtbeachtung dieser Vorgänge wird die Wärmelast größer berechnet als sie in Wirklichkeit vorhanden ist.

### Dämpfung der Wärmebelastung

Einschwingfaktor  $E_M(\tau)$  bei periodisch wiederkehrender Energieaufnahme

Es ist festzustellen, daß bei kurzen Einschaltzeiten der Maschinen schon eine Dämpfung der Wärmebelastung eintritt und das Wärmebeharrungsvermögen der Maschinen über das Zeitverhalten entscheidet. Die Wärmeabgabe der Maschinen erfolgt nicht nur konvektiv und durch Strahlung an die Raumluft, sondern auch an den Fußboden bei Fundamentaufstellung durch Wärmeleitung. In einer elektrisch angetriebenen Maschine findet ein komplizierter Energieaustausch und Energietransport zwischen den einzelnen Bauelementen statt. Die Konstruktionsmasse speichert isotherm die Wärme und gibt sie an die Umgebung ab. Das physikalische Modell zum thermischen Verhalten einer Maschine wird dort formuliert, wo durch den Kraftfluß in der Maschine der größte Wärmestrom erzeugt wird (Bilder 1 und 2).

Das Wärmebeharrungsvermögen wird als Einschwingvorgang verstanden und durch die Verknüpfung der Wärmespeichergleichung

$$\frac{m_M \cdot c_M}{\alpha_c \cdot \sum A_j} \cdot \frac{d\Delta T}{d\tau} + \Delta T = \frac{1}{\alpha_c \cdot \sum A_j} \cdot \dot{Q}_{sp} \quad (1)$$

bzw.

$$K_{M1} \cdot \frac{dx_a}{d\tau} + x_a = K_T \cdot x_e \quad (2)$$

und der Wärmeleitungsgleichung

$$\frac{\delta}{\lambda \cdot A} \cdot \Delta T = m_M \cdot c_M \cdot \frac{d\Delta T}{d\tau} \quad (3)$$

bzw.

$$\frac{d\Delta T}{d\tau} = \frac{d^2 x_a}{d\tau^2} \cdot K_{M2} + \frac{dx_a}{d\tau} \quad (4)$$

zu einem Übertragungsglied mit Verzögerung zweiter Ordnung einer linearen Differentialgleichung zweiter Ordnung mit zwei verschiedenen Zeitkonstanten

<sup>1)</sup> Vortrag der 9. Fachtagung Lüftungs- und Klimatechnik vom 1. 4. bis 3. 4. 1986 in Dresden

<sup>2)</sup> Dipl.-Ing. Korneli, E., KDT, wissenschaftlich-technischer Mitarbeiter, VEB KOMBINAT ILKA Luft- und Kältetechnik, Stammbetrieb für Forschung und Technik