A044
AIC 1060
1699

NATÜRLICHE LÜFTUNG VON HITZEBETRIEBEN

AIC

Die natürliche Lüftung hat eine besondere Bedeutung bei der Schaffung eines erträglichen Luftzustandes in Betrieben mit großer technologischer Wärmelast. Aus dem Maschenverfahren werden Berechnungsgleichungen für eingeschossige Industriehallen abgeleitet und Lösungsmöglichkeiten für andere Bauwerke angedeutet und zur zugfreien Zuluftführung Hinweise gegeben. Auf weitere Möglichkeiten der Unterstützung bei der Projektierung von Einrichtungen zur natürlichen Lüftung von Gebäuden wird verwiesen.

Lothar Dietze

Einleitung

Zur Lüftung von Betrieben mit wärmeintensiver Technologie sind wegen der von den technologischen Einrichtungen an die Luft abgegebenen Wärme sehr große Zu- und Abluftvolumenströme notwendig. Sie können meistens nicht mehr über lüftungstechnische Einrichtungen realisiert werden. Lösungsmöglichkeiten bietet jedoch der Einsatz der natürlichen Lüftung.

Durch die natürliche Lüftung können dem Raum unter Ausnutzung der thermischen Auftriebskraft und des Winddruckes sehr große Luftmassenströme zu- und abgeführt werden, ohne elektrische Energie für den Antrieb von Ventilatoren aufzuwenden und ohne Produktionsfläche für das Aufstellen der lüftungstechnischen Aggregate in Anspruch zu nehmen.

Auch erreicht eine mechanische Lüftungsanlage bei gleichem Förderstrom in Hitzebetrieben meistens nicht eine so gute Wirkung wie eine richtig dimensionierte natürliche Lüftung. Ein Vorteil einer gut projektierten natürlichen Lüftung ist die selbstregulierende Förderstromanpassung, die ohne Einsatz von Regeltechnik die Luftvolumenströme in gewissen Grenzen variiert. Selbstverständlich ist meistens zusätzlich eine pneumatische oder elektrische Raumlufttemperaturregelung wegen des Jahresganges der Außenklimagrößen erforderlich.

In Industriehallen führt weiterhin der große senkrechte Temperaturgradient der Luft im Raum zu geringeren notwendigen Luftvolumenströmen als bei der Zwangslüftung, denn die Temperaturdifferenzen zwischen Zu- und Abluft betragen nicht selten 12 bis 20 K.

Bauakademie der DDR, Institut für Heizung, Lüftung und Grundlagen der Bautechnik
Direktor: Prof. Dr.-Ing. W. Stocklöw

Es ist notwendig, daß die Einrichtungen zur natürlichen Lüftung von Fachleuten der Raumlufttechnik projektiert werden, weil dazu umfangreiche Kenntnisse der Strömungstechnik und Erfahrungen über die Luftführung in Räumen gehören. Die bisher übliche Auswahl und Dimensionierung z.B. der „Dachaufsatzlüftung" durch bautechnische Projektanten hat meistens zu großen Funktionsmängeln geführt, die nach der Inbetriebnahme kaum behebbar sind.

Wichtig ist, daß die Einrichtungen zur natürlichen Lüftung in einer frühen Phase der Bauprojektierung berücksichtigt werden, weil sie die Gebäudekonstruktion und die Grundflächengestaltung der Produktionshalle entscheidend beeinflussen.

Zur Dimensionierung der Zu- und Abluftgeräte müssen die durch die Technologie an die Raumluft abgegebenen Wärmeströme bekannt sein. Die Genauigkeit der Auslegung der Zu- und Ablufteinrichtungen hängt von der Genauigkeit der Ermittlung der technologischen Wärmeströme ab!

Berechnung der Luftmassenströme

Die Berechnung der notwendigen Größe und Anordnung der Gebäudeöffnungen oder der durch vorgesehene Öffnungen strömenden Luftmengen kann entweder nach dem

— Schnittverfahren

oder dem

— Maschenverfahren

erfolgen.

Multi-cell flow network

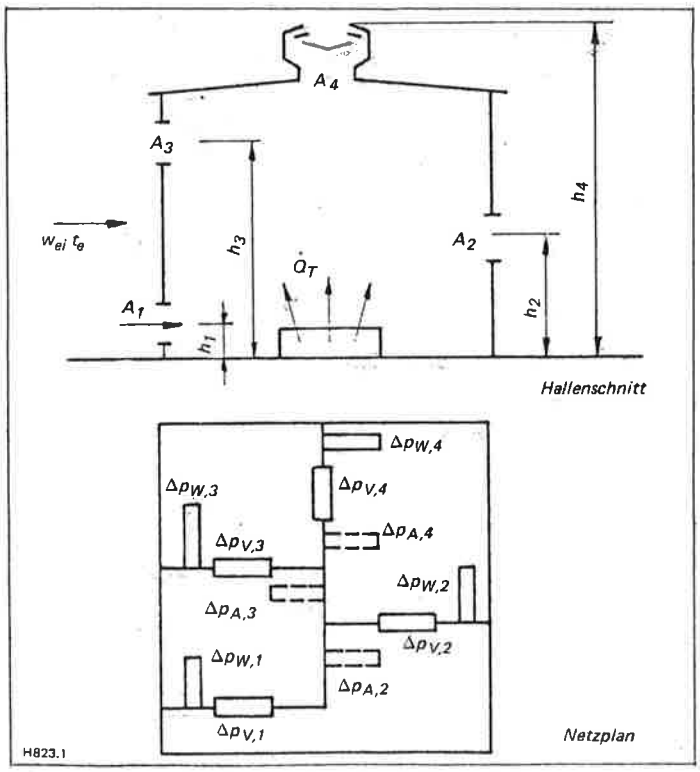

Bild 1: Beispiel für den Netzplan einer Industriehalle

Bei beiden Verfahren bilden Massenstrom-, Druck- und Wärmestrombilanzen mit der Bauwerksoberfläche zur freien Atmosphäre als Bilanzgrenze die Grundlage.

Beim Schnittverfahren ist die neutrale Fläche im Gebäude die Schnittebene. Wandöffnungen oberhalb der neutralen Fläche wirken als Abluftfläche und unterhalb als Zuluftfläche. Die Lage der neutralen Fläche wird von den Druckverlusten in den Öffnungen sowie von den Auftriebs- und Winddrücken bestimmt; bei Windstille liegt sie waagerecht, bei großen Windgeschwindigkeiten nahezu senkrecht.

Das in der letzten Zeit in der DDR fast ausschließlich angewandte Maschenverfahren hat einen Netzplan zur Grundlage. Als Strömungswege werden die Öffnungen mit den jeweiligen Strömungswiderständen und als Netzknoten die Räume des Gebäudes sowie die Außenatmosphäre angesehen. Als Druckquellen wirken die anteiligen thermischen Auftriebskräfte und die Windkräfte auf jeder Öffnung. Die Berücksichtigung von Ventilatoren und Luftkanälen sowie von Luftschächten ist ohne weiteres möglich. Ein einfaches Beispiel zeigt *Bild 1*. Das Gleichungssystem läßt sich im allgemeinen zu einer Determinante 2. Grades ordnen.

Für Hallenbauten ist das Aufstellen einer Determinante vermeidbar. Es ergibt sich dann für eine Industriehalle mit beliebig vielen Öffnungen:

$$\dot{m}_1 + \sum_{j=2}^{m} \mu_j A_j \varrho_j^{1/2} \left[2 g f \Delta h_j (\varrho_e - \varrho_{ab}) - \frac{1}{\varrho_1} \left(\frac{\dot{m}_1}{\mu_1 A_1} \right)^2 + \varrho_e (c_1 - c_j) w_e^2 \right]^{1/2} = 0 \qquad (1)$$

$$\dot{m}_j = \mu_j A_j \varrho_j^{1/2} \left[2 g f \Delta h_j (\varrho_e - \varrho_{ab}) - \frac{1}{\varrho_1} \left(\frac{\dot{m}_1}{\mu_1 A_1} \right)^2 + \varrho_e (c_1 - c_j) w_e^2 \right]^{1/2} \qquad (2)$$

Der Bezug zur technologischen Wärme wird durch

$$\frac{\sum_{j=1}^{m} |\dot{m}_j|}{2} = \frac{B \dot{Q}_T}{c (t_e - t_{AZ})} \qquad (3)$$

erreicht.

Formelzeichen

A	Fläche
B	Temperaturfaktor
C	Windwiderstandsbeiwert
$\dot{Q}$	Wärmestrom
c	spezifische Wärmekapazität
f	Füllgrad des Raumes mit Luft von Ablufttemperatur
g	Erdbeschleunigung
h	Höhe
$\dot{m}$	Massenstrom
p	Druck
$\dot{q}$	spezifischer Wärmestrom
t	Lufttemperatur
w	Geschwindigkeit
α	Öffnungswinkel
Δ	Differenz
μ	Ausflußkoeffizient
ϱ	Luftdichte

Indizes

A	durch Auftrieb
AZ	in der Arbeitszone
H	auf Hallenvolumen bezogen
HF	Hallengrundfläche
QF	Grundfläche der Wärmequellen
T	durch Technologie
ab	der abgeführten Luft
e	der Außenatmosphäre
j	Laufvariable
m	Endwert der Laufvariablen
v	durch Druckverlust
w	durch Wind
zu	der zugeführten Luft

Diese Gleichungen gelten für alle außenklimatischen Verhältnisse, jedoch nicht für die Fugenlüftung (wobei für die Berechnung der Luftvolumenströme durch Fugen ein ähnliches Gleichungssystem ohne weiteres ableitbar ist).

Man erkennt aus den Gl. (1) und (2), daß Eingangsgrößen wie der Ausflußkoeffizient und der örtliche Windwiderstandsbeiwert c wesentlichen Einfluß auf die Berechnung und damit auf die Dimensionierung haben. Das gleiche gilt für den Temperaturfaktor B und den Füllgrad f des Raumes mit Luft von Ablufttemperatur. Die dafür notwendigen Werte sind nur über umfangreiche Untersuchungen beschaffbar und liegen für die meisten Anwendungsfälle im Institut für Heizung, Lüftung und Grundlagen der Bautechnik der Bauakademie der DDR vor.

Zur Lösung der Gl. (1) bis (3) unter Berücksichtigung technologischer Luftquellen oder -senken wurden im vorgenannten Institut für Kleinstrechner mit Magnetkarteneingabe Programme zur Nachnutzung ausgearbeitet. Bei einer Kapazität des Rechners von z.B. 480 Programmspeicherplätzen und 59 Datenspeicherplätzen können die Luftmassenströme durch 10 verschiedene Öffnungen, die mittlere Ablufttemperatur und die mittlere Lufttemperatur in der Arbeitszone berechnet werden. Diese Programme sind auch für mehrschiffige Hallen unterschiedlicher Größe verwendbar, wobei hier jedoch besondere Einflußgrößen und Kriterien zu beachten sind.

Für den sehr einfachen Anwendungsfall einer einschiffigen Halle mit zwei Öffnungen läßt sich für den Sommerauslegungsfall unter folgenden Voraussetzungen

- Windstille
- $t_e = 28\,°C$
- $A_{zu} = A_{ab}$
- $\mu_{zu} = \mu_{ab} = 0{,}45$
- $t_{ab} - t_{zu} \approx 10\,K$

$$- \frac{\varrho_j}{\varrho_1} \approx 1$$

aus den Gl. (1) und (2) als Näherung für A in m², Δh in m und $\dot{m}_1$ in kg/s ableiten:

$$\dot{m}_1 + A_2 \left[0{,}13\, h - \left(\frac{\dot{m}_1}{A_1} \right)^2 \right]^{1/2} = 0 \qquad (4),$$

wobei

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 \qquad (5)$$

und

$$\dot{m}_1 = \frac{B \dot{Q}_T}{c (t_e - t_{AZ})} \qquad (6)$$

ist.

Die Gl. (4) bis (6) bilden die Grundlage für *Bild 2*, das für Überschlagsrechnungen verwendet werden kann. Diese Überschlagsrechnungen sind aber nur für die erste Phase einer Projektierung zulässig. Bei der endgültigen Auslegung ist nach Gl. (1) bis (3) zu rechnen.

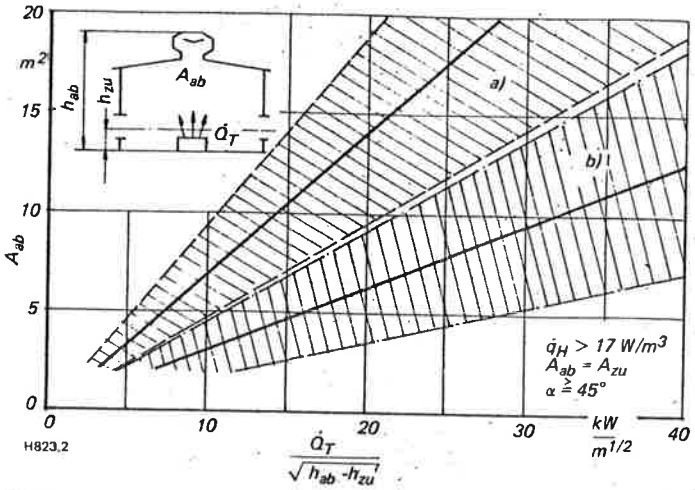

Bild 2: Diagramm zur näherungsweisen Bestimmung der Öffnungsflächen für Industriehallen mit wärmeintensiver Technologie
a) Verteilte Wärmequellen ($A_{QF}/A_{HF} > 0{,}2$)
b) Konzentrierte Wärmequellen ($A_{QF}/A_{HF} < 0{,}15$)

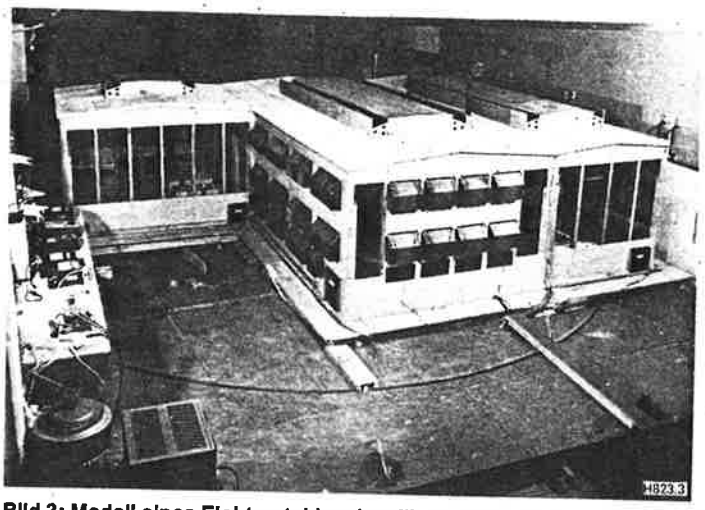

Bild 3: Modell eines Elektrostahlwerkes für lüftungs- und schalltechnische Optimierungsuntersuchungen

Zuluftführung

Bei der Anwendung der natürlichen Lüftung in Hitzebetrieben wird oft über Zugerscheinungen geklagt. Diese Zugerscheinungen sind meist die Folge von zu kleinen Zuluftöffnungen, ihrer falschen Anordnung oder ungenügender Beachtung der Strahlausbreitung der Luft. Entscheidend für die Luftverteilung in einem Raum sind die Zuluftverhältnisse, wobei allerdings die Eigenzirkulation der intensiven Wärmequellen zu beachten ist. Es empfiehlt sich deshalb, die Berechnungen nach Abschnitt „Berechnung der Luftmassenströme" nicht nur für Sommerverhältnisse, sondern auch für den Winter anzustellen und die Dimensionierung besonderer Zuluftöffnungen für den Winter über Betrachtungen

- zur Archimedeszahl
- zum Turbulenzgrad des Zuluftstrahls als Funktion der Auslaßkonstante der Zuluftöffnung
- zum Strahlimpuls

zu stützen.

Als allgemeine Regeln für einen Betrieb im Winter gelten:

- Unterkante der Zuluftöffnungen mindestens 5 m über der Arbeitszone anordnen
- hohen Turbulenzgrad der Zuluftöffnungen wählen
- Kaltlufteinbrüche über die Fortluftöffnungen im Dach durch teilweises Schließen, möglichst über eine Regelung für die Lufttemperatur in der Arbeitszone, vermeiden.

Dagegen ist es für eine Betriebsweise im Sommer notwendig, daß die Zuluftöffnungen so tief wie möglich liegen und ihre Öffnungsfläche groß ist.

Die geringsten Investitionen entstehen, wenn

$$\mu_{zu} A_{zu} = \mu_{ab} A_{ab} \qquad (7)$$

ist.

Zusammenfassung

Im Institut für Heizung, Lüftung und Grundlagen der Bautechnik der Bauakademie der DDR liegen ausgereifte Berechnungsverfahren und gute praktische Erfahrungen zur Gestaltung der natürlichen Lüftung von Hitzebetrieben vor. Zur ökonomischen Ausbildung der Geräte für die Zu- und Abluftführung können den Herstellerbetrieben und Projektanten Werte für Eingangsgrößen in die Dimensionierungsverfahren über eigene Messungen zur Verfügung gestellt werden. Auf der Basis neuester wissenschaftlicher Kenntnisse stehen Rechenprogramme zur Verfügung, die die oft sehr zeitaufwendige Lösung der Berechnungsgleichungen für den Praktiker erleichtern.

Bei schwierigen Problemen werden für Hitzebetriebe lüftungstechnische Versuche an geometrisch ähnlichen Modellen auf einem Versuchsstand bei Leipzig durchgeführt *(Bild 3)*.

Schrifttum

Baturin, W.: Lüftungsanlagen für Industriebauten. Berlin: VEB Verlag Technik 1959.

Dietze, L.: Natürliche Lüftung von wärmeintensiven Betrieben; Vorläufige Richtlinie. Bauforschung/Baupraxis, Heft 27. Berlin: Bauinformation der DDR 1979.

Dietze, L.: Natürliche Lüftung von Industriehallen über schalldämmende Zu- und Abluftöffnungen. 5. Internationale Konferenz „Rechenmethoden in der Lüftung, Heizung und Klimatisierung". Prag 1981.

Dietze, L.: Strömungsgünstige Fortluftgeräte für die natürliche Lüftung von Industriehallen mit wärmeintensiver Technologie. Bauinformation Wissenschaft und Technik Heft 2, Berlin 1983.

[H 823]