

Tabelle 2: Betriebskosten in M/a (Variable Kosten)

Pos.	Bezeichnung	Strahlplatten- heizung	Luftheizer- anlage
1	Heizenergiekosten	9 746,-	12 183,-
2	Wartungs- und Bedienungskosten	-	909,-
3	Unterhaltungskosten	2 900,-	3 418,-
Σ	Variable Kosten	12 646,-	16 510,-

Tabelle 3: Feste und variable Kosten in M/a

Pos.	Bezeichnung	Strahlplatten- heizung	Luftheizer- anlage
1	Feste Kosten	4 461,-	4 198,-
2	Variable Kosten (Betriebskosten)	12 646,-	16 510,-
Σ	Jährlicher Aufwand	17 107,-	20 708,-
		82,6%	100%

Jährliche Aufwandkennziffer

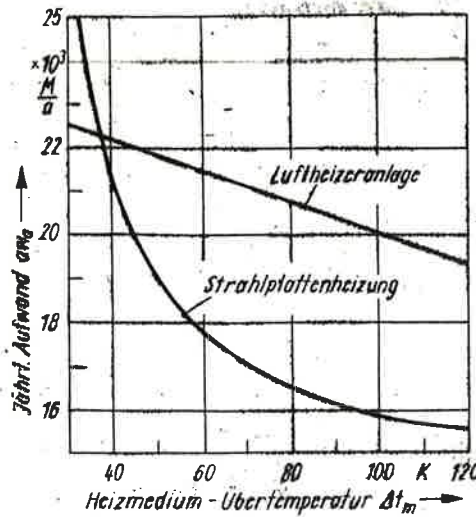
In Tabelle 3 sind die festen und die variablen Kosten für die Strahlplattenheizung und die Luftheizeranlage zusammengefaßt. Es ist ersichtlich, daß die Aufwandkennziffer für die Strahlplattenheizung im dargestellten Fall um 17,4 Prozent geringer ist als für die Luftheizeranlage. Damit ist die Strahlplattenheizung für das Beispielgebäude die wirtschaftlichste Variante.

Im Bild 4 ist die jährliche Aufwandkennziffer in Abhängigkeit von der Heizmediumtemperatur für Strahlplattenheizungen und Luftheizeranlagen wiedergegeben. Es kann eingeschätzt werden, daß die Grenze für den wirtschaftlich günstigsten Einsatz der Strahlplattenheizung bei Heizmedium-Übertemperaturen von 40...45 K liegt.

Weiterhin ist zu erkennen, daß unabhängig von den Heizmediumtemperaturen die Betriebskosten für Strahlplattenheizungen immer niedriger sind als bei Luftheizeranlagen.

Literatur

- 1/1 Rensch, H.-D./Drechsler, W.: Strahlplatten in Industriehallen - Anwendungsrichtlinien. Berlin: Bauinformation der DDR 1975 und 1978
- 2/1 Projektierungsrichtlinie TGA - Teil B. VEB Kombinat Technische Gebäudeausrüstung - Institut, 1977



- 3/1 Projektierungsrichtlinie für Strahlplatten Typ Brandenburg. VEB Technische Gebäudeausrüstung Potsdam, BT Brandenburg
- 4/1 Rensch, H.-D./Drechsler, W.: Strahlplatten in Industriehallen - Weiterentwickelte Anwendungsrichtlinie. „Bauforschung/Baupraxis“ Heft 141 Berlin: Bauinformation der DDR 1984
- 5/1 Nutzerdokumentation zum Rechenprogramm „Bemessung von Strahlplatten im Industriebau“. Bauakademie der DDR, Institut für Heizung, Lüftung und Grundlagen der Bautechnik, 1983
- 6/1 TGL 190-452; Energieanwendung - Wirtschaftlicher Energieträgerersatz - Ermittlung, Beurteilung
- 7/1 Kraft, G.: Lehrbuch der Heizungs-, Lüftungs- und Klimatechnik Band 1: Heizungstechnik. Berlin: VEB Verlag Technik, 1981
- 8/1 Fröhlich, E.: Rechenprogramm zum Nachweis der wärmephysiologischen Parameter bei Strahlplattenheizungen in Industriehallen. Vortrag auf der 4. Fachtagung Heizung und Lüftung, Leipzig, 1980
- 9/1 Pezold, K.: Gebäudegestaltung und Heizenergiebedarf. „Energieanwendung“ 32 (1983) 6, S. 201 bis 207
- 10/1 Otto, B.: Prinzipien zur Rationalisierung industrieller Hallenheizungssysteme - Wärme-technische Messungen in Industriehallen des Maschinenbaus. Dresden: Institut für Energieversorgung 1975 (unveröff.)
- 11/1 Rensch, H.-D./Drechsler, W.: Herleitung eines Verfahrens für den technisch-ökonomischen Vergleich von Strahlplattenheizungen und Luftheizeranlagen. Bauakademie der DDR, Institut für Heizung, Lüftung und Grundlagen der Bautechnik, 1982

Aus Aktualitätsgründen wird der Beitrag auch in der Zeitschrift „Energieanwendung“ Heft 4/1985 veröffentlicht.

D. Red.

Ein Beitrag zur Berechnung der freien Lüftung von Industriegebäuden

Dr.-Ing. Lothar DIETZE
Bauakademie der DDR, Institut für Heizung, Lüftung und Grundlagen der Bautechnik

Energieökonomische Gründe zwingen den Projektanten von Bauwerken zu Lösungen, die einen geringen Aufwand an Anlagen für die Zwangslüftung erfordern. Eine Alternative bietet die freie Lüftung. Sie sollte grundsätzlich dort vorgesehen werden, wo folgende Voraussetzungen erfüllt sind:

- Keine Forderungen nach konstanten Raumluftzuständen
- es ist keine Reinigung der Zu- und Abluft notwendig.

Bei der freien Lüftung wird die Luft den Räumen im Bauwerk unter Ausnutzung des thermischen Auftriebsdrucks und des Winddrucks über Gebäudeöffnungen zugeführt, ohne elektrische Energie für den Antrieb von Ventilatoren aufzuwenden oder Fläche für das Aufstellen der Lüftungstechnischen Einrichtungen in Anspruch zu nehmen. Die durch das Gebäude strömende Luftmenge ist demzufolge von den an die Raumluft abgegebenen Wärmeströmen, der Windgeschwindigkeit, der Windrichtung, der Geometrie des Bauwerks sowie von der Lage, der Größe und der Form der Gebäudeöffnungen abhängig.

Formelzeichen

- A Bezugsquerschnitt
- A_{ab} Bezugsquerschnitt Abluftfläche
- A_{zu} Bezugsquerschnitt Zuluftfläche
- Q Wärmestrom
- T_{ab} Ablufttemperatur
- T_{zu} Zulufttemperatur
- T_{AZ} Lufttemperatur im Aufenthaltsbereich

- $\frac{S}{X}$ Standardabweichung
- \bar{X} Mittelwert
- \dot{V}_F Zuluft-Volumenstrom durch Fugen ohne Zwangslüftung des Raumes
- \dot{V}_{zu} Zuluft-Volumenstrom Zwangslüftung
- \dot{V}_{ab} Abluft-Volumenstrom Zwangslüftung
- a Fugendurchlaßkoeffizient
- c_p Spezifische Wärmekapazität der Luft
- c Windwiderstandsbeiwert
- c_v Druckverlustbeiwert
- d Durchmesser
- d_{gl} Gleichwertiger Durchmesser
- f Füllgrad des Raums mit Luft mit Ablufttemperatur
- g Erdbeschleunigung
- Δh Höhendifferenz
- l_F Fugenlänge
- l_K Kanallänge
- \dot{m} Luftmassenstrom
- Δp Druckdifferenz
- Δt_{AZ} Temperaturdifferenz zwischen Außenluft und Arbeitszone
- t_e Außenlufttemperatur
- w_e Windgeschwindigkeit
- α Öffnungswinkel
- Δρ Dichtedifferenz
- ρ_e Dichte der Außenluft



ABN 0 2501 483
25/5 P 11

AIC 1651

- Dichte der Luft im Bezugsquerschnitt
- Dichte der Abluft
- Raumbelastungsgrad für sensible Wärme
- Reibungsbeiwert für Kanäle und Schächte
- Widerstandsbeiwert von Bauteilen für Kanäle und Schächte

Berechnungsverfahren

Der Zweck der Berechnung der freien Lüftung besteht darin, entweder die durch vorhandene Gebäudeöffnungen strömenden Luftmassen oder die notwendige Größe der Gebäudeöffnungen bei vorgegebenen Luftmassenströmen zu ermitteln. Beide Aufgaben sind mit Hilfe des Maschenverfahrens lösbar. Dabei bilden Massestrom-, Druck- und Wärmestrombilanzen mit der Oberfläche des Bauwerks als Bilanzgrenze die Grundlage. Als Strömungswege werden die Öffnungen mit den jeweiligen Strömungswiderständen in Öffnungen

$$p_v = \frac{1}{2} \left(\frac{\dot{m}}{c_v A} \right)^2 \quad (1)$$

in Fugen

$$p_v = \left(\frac{\dot{m}}{a l_f \rho} \right)^{3/2} \quad (2)$$

in Kanälen und Schächten

$$p_v = \frac{\sum \zeta + \frac{\lambda l_k}{2 \rho} \left(\frac{\dot{m}}{A} \right)^2}{2 \rho} \quad (3)$$

wie als Netzknoten die Räume des Gebäudes und die Außenatmosphäre

$$\dot{m}_1 = 0 \quad (4)$$

ngesehen.

1 Gleichung (4) können Luftsenken oder -quellen durch Zwangslüftung

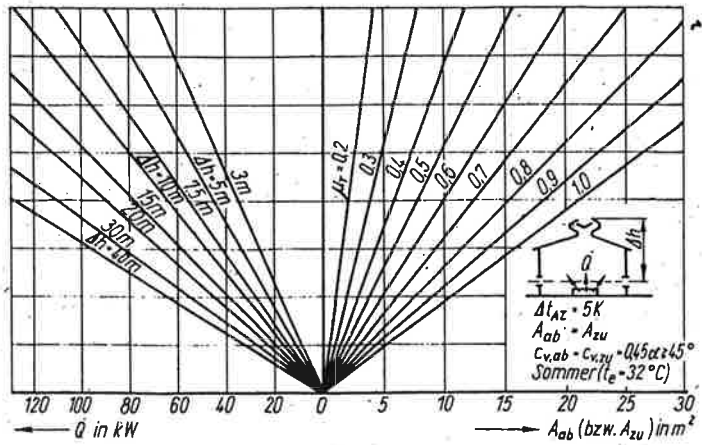
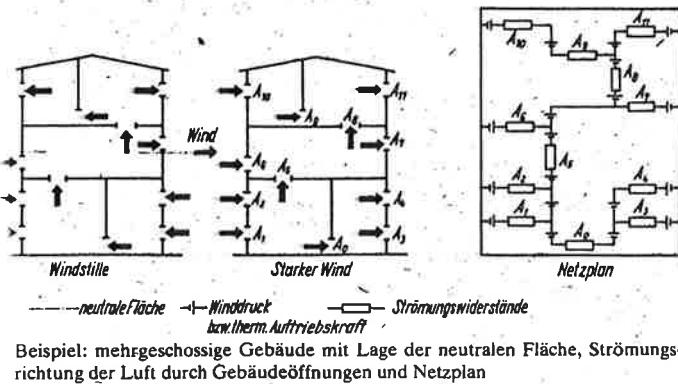
erücksichtigt werden. Als Druckquellen der freien Lüftung wirken

$$p_A = g \Delta h \Delta \rho \quad (5)$$

der Winddruck

$$p_W = c \frac{w_e^2 \rho_e}{2} \quad (6)$$

in einfaches Beispiel eines Netzplanes wird in Bild 1 gezeigt. Unter Berücksichtigung bestimmter Regeln werden daraus Bestimmungsgleichungen abgeleitet. Dieses Gleichungssystem kann über die Determinante einer Matrix oder über iterative Verfahren näherungsweise gelöst werden. Meistens werden dazu Programme für EDV-Anlagen benutzt.



2 Nomogramm für die näherungsweise Bestimmung der Öffnungsflächen für Industriehallen mit wärmeintensiver Technologie

Eingangsgrößen für die Berechnung

Die Eingangsgrößen für die Berechnung haben die gleiche Bedeutung wie das Berechnungsverfahren selbst. Fast alle Werte der Eingangsgrößen werden experimentell bestimmt, z. B.

- die Druckverlustbeiwerte c_v und die Fugendurchlaßkoeffizienten a auf speziellen Versuchsständen
- die Winddruckbeiwerte c im Windkanal
- der Raumbelastungsgrad für sensible Wärme

$$\mu_T = \frac{T_{AZ} - T_{zu}}{T_{ab} - T_{zu}} \quad (7)$$

in Modellversuchen oder durch Messungen in ausgeführten Objekten. Angaben zu den Eingangsgrößen sind in /2/ und /3/ aufgeführt.

Anwendungsbeispiele

Hallenbauten mit wärmeintensiver Technologie

Für Hallenbauten sind das Aufstellen einer Matrix und die Lösung über die Determinante nicht erforderlich. Für eine Industriehalle mit beliebig vielen Öffnungen ergibt sich

$$\dot{m}_1 + \sum_{i=2}^m \dot{m}_i = 0 \quad (8)$$

$$\dot{m}_i = (c_v A \rho^{1/2})_i \left[\left[2g f \Delta h_j (\rho_e - \rho_{ab}) - \frac{1}{\rho_i} \left(\frac{\dot{m}}{c_v A} \right)^2 + \rho_e w_e^2 (c_i - c_j) \right] \right]^{1/2} \quad (9)$$

mit der Festlegung, daß die Zuluft-Masseströme durch ein negatives, die Abluft-Masseströme durch ein positives Vorzeichen im Klammerausdruck gekennzeichnet sind und der Massestrom \dot{m}_1 ein Zuluft-Massestrom ist.

Der Bezug zu den an die Raumluft abgegebenen Wärmeströmen \dot{Q} wird durch

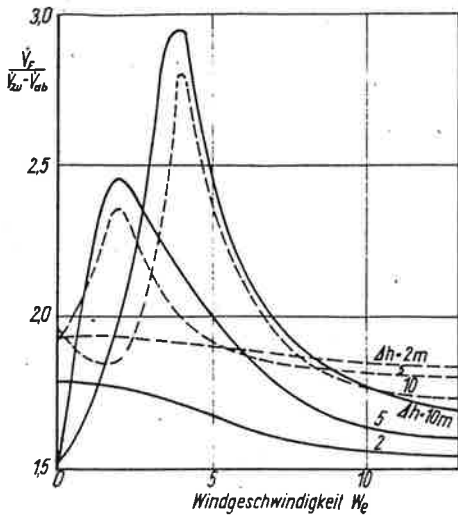
$$\frac{\sum_{i=1}^m |\dot{m}_i|}{2} = \frac{\mu_T \dot{Q}}{c_p (T_{zu} - T_{AZ})} \quad (10)$$

hergestellt.

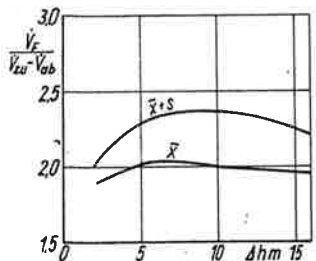
Diese Gleichungen gelten für alle außenklimatischen Verhältnisse. Für die Lösung der Gleichungen (8) bis (10) unter Berücksichtigung technologischer Luftquellen oder -senken liegen Rechenprogramme /4/ vor; für den Sommerauslegungsfall sind in /2/ Überslagverfahren abgeleitet. Bild 2 zeigt ein Beispiel.

Fugenlüftung von Hallenbauten

Nach den vorstehend beschriebenen Verfahren lassen sich auch die Gleichungen für die Berechnung der Luftmassenströme durch beliebig viele Fugen aufstellen. Neben Gleichung (8) ist anstelle Gleichung (9) notwendig.



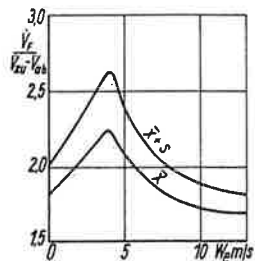
3 Abhängigkeit des Zuluft-Volumenstroms durch Fugen von der Höhendifferenz und der Windgeschwindigkeit bei Zwangslüftung mit Überdruck



4 Statistischer Mittelwert \bar{X} und Mittelwert mit Standardabweichung

$$\bar{X} + S \text{ des Verhältnisses } \frac{\dot{V}_F}{\dot{V}_{zu} - \dot{V}_{ab}}$$

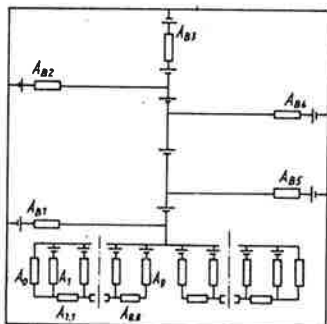
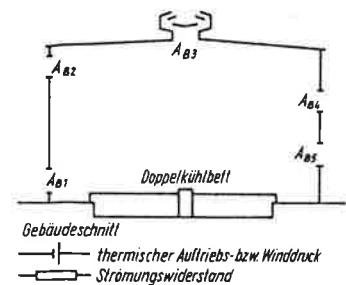
in Abhängigkeit von der Höhendifferenz h der Fugen



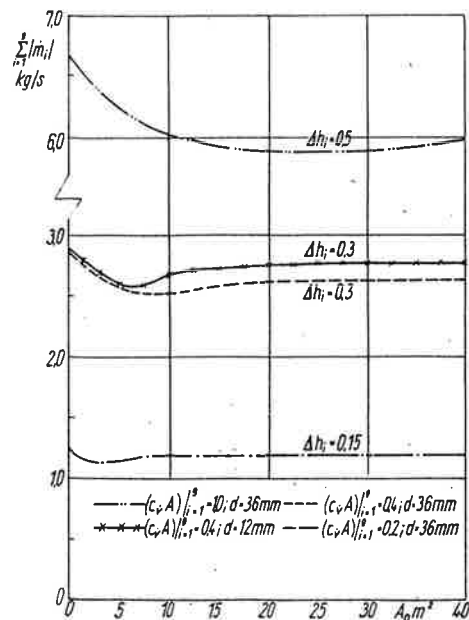
5 Statistischer Mittelwert \bar{X} und Mittelwert mit Standardabweichung

$$\bar{X} + S \text{ des Verhältnisses } \frac{\dot{V}_F}{\dot{V}_{zu} - \dot{V}_{ab}}$$

in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit w_e



6 Netzplan für System Kühlbett-Bauwerk-Außenatmosphäre



7 Luftmassenstrom

$$\sum_{i=1}^9 \dot{m}_i$$

in Abhängigkeit vom Eintrittsquerschnitt A_0 , der Höhendifferenz im Rost Δh , den aerodynamischen Querschnitten des Rostes $(c_v A) \Big|_{i=1}^9$ und vom Kühlgutdurchmesser d

$$\dot{m}_i = (a l_F \rho)_i \left[\left| g \Delta h_i (\rho_e - \bar{\rho}_{ab}) - \left(\frac{\dot{m}}{a l_F \rho} \right)_i^{3/2} - (c_1 - c_2) \frac{w_e^2 \rho_e}{2} \right| \right]^{2/3} \quad (11)$$

Als Abluftdichte $\bar{\rho}_{ab}$ wurde hier der räumliche Mittelwert verwendet. Auch hierfür liegt ein Rechenprogramm vor /5/.

Fugenlüftung im Winter bei Zwangslüftung mit Überdruck

Eine Zwangslüftung mit Überdruck führt zur Reduzierung der Zuluft-Masseströme durch die Fugen. Die über Fugen im Winter in einen Raum strömende Außenluft in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit, der Höhendifferenz zwischen den Fugen und dem Verhältnis

$$F = \frac{\dot{V}_F}{\dot{V}_{zu} - \dot{V}_{ab}} \quad (12)$$

ist als Beispiel im Bild 3 wiedergegeben.

In den Bildern 4 und 5 sind die Ergebnisse mittels statistischer Häufigkeitsberechnung zusammengefaßt dargestellt.

Voraussetzung für derartige Untersuchungen ist, daß der Raum Fugen auf der Luv- und Leeseite oder undichte Verbindungen zu anderen Räumen auf der Leeseite des Bauwerks hat.

Aus den Bildern ist ersichtlich, daß erst bei einem verhältnismäßig großen Verhältnis F keine Fugenlüftung mehr vorhanden ist und daß der Fugendurchlaßkoeffizient a auf dieses Verhältnis wenig Einfluß hat.

Freie Lüftung der Kühlbetthalen von Walzwerken

In Stahlwerken werden die warmgewalzten Profile auf Kühlbetten zwecks Abkühlung von Walztemperatur auf Raumlufttemperatur zwischengelagert. Die Leistung eines Walzwerkes wird wesentlich von der Kühlkapazität in diesem Hallenbereich beeinflusst.

Die Hersteller von Kühlbetten sind bemüht, die Kühlwirkung durch eine Zwangslüftung zu verbessern. Dazu sind aber sehr große Ventilatorleistungen notwendig. Deshalb wurde versucht, auf der Grundlage von Variantenberechnungen /6/ unter Berücksichtigung des Abkühlverhaltens ein Kühlbett für Rundstahl für eine maximale Luftdurchströmung durch freie Konvektion zu optimieren.

Im Bild 6 ist der vereinfachte Netzplan für ein Beispiel des Systems Kühlbett-Bauwerk-Außenatmosphäre dargestellt. Für das Kühlbett wurden die Parameter für den Luftkanal-Eintrittsquerschnitt A_0 , für die Querschnitte im Rost A_i sowie für die Querschnitte $A_{n,i}$ im Stützenbereich des Rostes variiert.

Wenn bei bestimmten Kühlbettkonstruktionen das Bauwerk einen relevanten Einfluß auf den Luftmassenstrom durch das Kühlbett hatte, wurden dafür die Kriterien ermittelt. In das Bild 7 sind als Beispiel einige Untersuchungsergebnisse eingetragen.

Literatur

- 1/ Richter, W.: Lüftung im Wohnungsbau. Berlin: VEB Verlag für Bauwesen, 1983
- 2/ Dietze, L.: Freie Lüftung von wärmeintensiven Betrieben, Projektierungsrichtlinie. Schriftenreihe „Bauforschung/Baupraxis“ Heft 147. Bauakademie der DDR, Bauinformation, Berlin, 1984
- 3/ TGL 26760/02 Heizlast von Bauwerken; Berechnungsgrößen
- 4/ Dietze, L.: Programmdokumentation für Kleinstrechner K 1003/4; Programm A_11: Freie Lüftung eingeschossiger Hallen über Öffnungen. Bauakademie der DDR, Institut für Heizung, Lüftung und Grundlagen der Bautechnik, 1984
- 5/ Dietze, L.: Programmdokumentation für Kleinstrechner K 1003/4; Programm L 1: Freie Lüftung eingeschossiger Hallen über Fugen. Bauakademie der DDR, Institut für Heizung, Lüftung und Grundlagen der Bautechnik, 1984
- 6/ Dietze, L.: Wirtschaftliche Energieanwendung durch natürliche Lüftung von Kühlbetthalen. Bauakademie der DDR, Institut für Heizung, Lüftung und Grundlagen der Bautechnik (Unveröff.), 1984