

Zur Problematik der Durchlüftung und der Lüftungsheizlast von vielgeschossigen Gebäuden und Hochhäusern

Dr.-Ing. W. RICHTER

Technische Universität Dresden, Sektion Energieumwandlung,
Wissenschaftsbereich Technische Gebäudeausrüstung
Leiter: Prof. Dr.-Ing. habil. G. KRAFT

3. Durchlüftung des gesamten Gebäudes

In der Praxis sind vorrangig die Luftmengenströme durch Fenster, Wohnungstüren und Luftschächte von Interesse. Während für die Auslegung der Bauelemente die maximalen Belastungswerte berücksichtigt werden, muß für die Untersuchung der möglichen Betriebszustände eine größere Anzahl Varianten Eingang in die Berechnung finden.

Im folgenden werden Untersuchungsergebnisse wiedergegeben, die am Beispiel eines 17geschossigen Wohnhochhauses den Einfluß der Windgeschwindigkeit und des Lüftungstechnischen Systems auf die Durchlüftung aufzeigen.

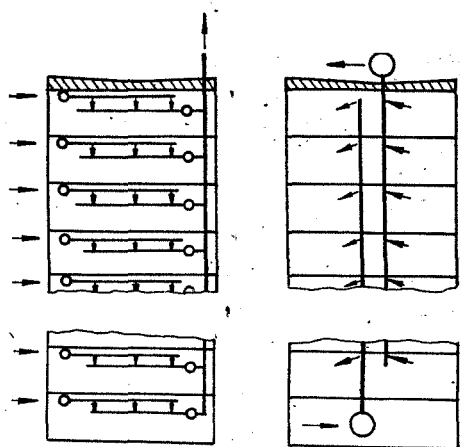
Als Außenlufttemperatur wird $t_a = -15 \text{ °C}$ gewählt, um den maximalen Einfluß des thermischen Auftriebs zu gewährleisten.

Das Luftverteilungssystem zur Wohnungslüftung wird in die Varianten

- Horizontallüftung
- Vertikallüftung

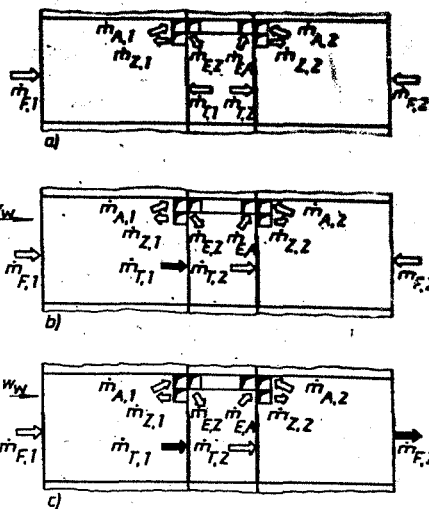
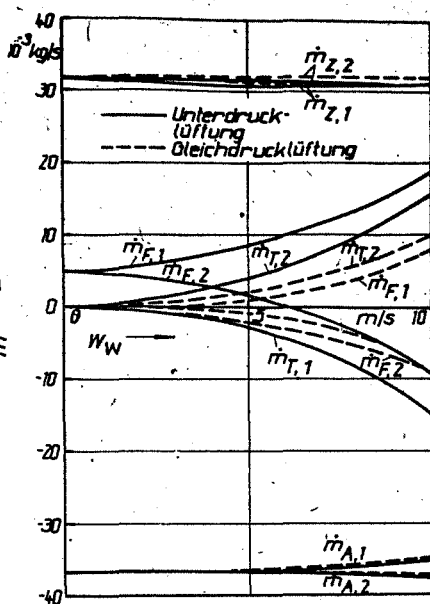
unterteilt. Wie Bild 5 zu entnehmen ist, hat das Horizontalsystem eine dezentrale geschoßweise Außenluftansaugung und eine horizontale Ver- und Entsorgung der Wohnungen über den Erschließungsflur. Die Abluft wird in einen gemeinsamen Abluftschacht geleitet. Das Vertikalsystem entspricht der konventionellen Lösung.

Ein weiteres Untersuchungsmerkmal stellt die Aufgliederung in Unterdruck- und Gleichdrucklüftung dar. Während beim Unterdrucksystem der Abluft-Mengenstrom etwa 20 Prozent höher als der Zuluft-Mengenstrom ausgelegt wird und somit, wie angenommen, die Differenzluftmenge über die Wohnungsfenster nachfließt, entspricht das Gleichdrucksystem einer ausgeglichenen Lüftung (vorrangige Anwendung bei zusätzlicher Wohnraumlüftung).



5 Wohnungslüftung durch Horizontal- und Vertikalsystem

6 Vergleich der Mengenströme bei Unterdruck- und Gleichdrucklüftung ($n=2$, $t_a = -15^\circ\text{C}$, Vertikalsystem)



7 Qualitative Darstellung der Strömungsverhältnisse für ein typisches Wohngeschoss mit Flurlüftung bei unterschiedlichen Windgeschwindigkeiten (schwarze Pfeile zeigen Strömungsrichtungsumkehr an).
a) $w_w = 0 \text{ m/s}$, b) $w_w > 0 \text{ m/s}$, c) $w_w < 0 \text{ m/s}$

Aus regelungstechnischen und akustischen Gründen erfolgt teilweise eine höhenmäßige Untergliederung der Lüftungsanlage. Berechnungsmäßig und auch in Hinsicht auf die Durchlüftung gibt es keine Unterschiede zu den in der vorliegenden Arbeit besprochenen Systemen, so daß auf eine gesonderte Vorstellung verzichtet werden kann.

In Bild 6 sind die genannten typischen Mengenströme je Wohnung als Funktion der Windgeschwindigkeit dargestellt. Aufgrund der Abhängigkeit $\Delta p_w \sim w_w^2$ entstehen nichtlineare Verläufe. Dabei wird zwischen Unterdruck- und Gleichdrucksystem unterschieden. Dem Raum zufließende Mengenströme werden positiv, abfließende negativ gekennzeichnet.

Prinzipiell gilt, daß im Gegensatz zu den Zuluft- und Abluftmengenströmen die Mengenströme durch Fenster und Türen eine wesentlich höhere Abhängigkeit von der wichtigsten Störgröße des Lüftungssystems, der Windgeschwindigkeit, aufweisen.

Es ist klar zu erkennen, daß der Begriff „Stabilität“ eines Lüftungssystems sich nur auf die Zuluft- und Abluftmengenströme bezieht und somit nur im Küche/Bad-Bereich in erster Näherung eine Unabhängigkeit von äußeren Einflüssen erreicht werden kann. Der in diesem Zusammenhang verwendete Begriff „Stabilitätskriterium“ bezieht sich daher auch nur auf diesen Anteil an der gesamten Durchlüftung des Gebäudes.

Als Stabilitätskriterium wird dabei folgendes Verhältnis verstanden

$$\frac{\dot{m}^*}{\dot{m}_N} = f(\Delta p_w, \Delta p_{TA}) \rightarrow 1$$

oder

$$\frac{\Delta \dot{m}}{\dot{m}_N} = \frac{\dot{m}^* - \dot{m}_N}{\dot{m}_N} \rightarrow 0$$

Wird der Mengenstrom \dot{m}_N einem Zustand zugeordnet, bei dem thermischer Auftrieb und Windkraft keinen Einfluß ausüben, so folgt bei Berücksichtigung der Beziehung

$$\Delta p_{Lü} = \sum \Delta p_{\dot{V}} + \Delta p_{LD} - \Delta p_{TA} \pm \Delta p_w$$

bzw. näherungsweise

$$\Delta p_{Lü} = b_g \dot{m}^2 + \frac{b_{LD}}{n^2} \dot{m}^2 - \Delta p_{TA} \pm \Delta p_w$$

und damit die mögliche Mengenstromdifferenz

$$\Delta \dot{m} = \dot{m}^* - \dot{m}_N = \left(b_g + \frac{b_{LD}}{n^2} \right)^{-1/2} [(\Delta p_{Lü} + \Delta p_{TA} \pm \Delta p_w)^{1/2} - (\Delta p_{Lü})^{1/2}] \quad (25)$$

Wie Bild 7 entnommen werden kann, bleiben die Differenzmengenströme zwischen Gleichdruck- und Unterdrucksystem, die bei Windstille dem Auslegungsfall $\sum \dot{m}_F (w_w = 0) = \dot{m}_A - \dot{m}_Z$ entsprechen, bei steigenden Windgeschwindigkeiten nicht erhalten. Diese Abweichungen sind durch die infolge unterschiedlicher Ausgangsmengenströme differierenden Druckverluste der Fenster und Türen gegeben.

Werden die Mengenströme über der Geschobzahl aufgetragen, so zeigt sich, daß die geschobweisen Mengenstrom-Abweichungen für Fenster und Türen zu vernachlässigen sind. Die Wirkung des thermischen Auftriebs wird im Bereich der Vertikalschächte gegenüber der Lüfterdruckdifferenz unterdrückt, die Aufwärtsströmung im Aufzugschacht als zweiter senkrechter Verbindungstrakt wirkt sich jedoch auf die Gesamt-Durchlüftung geringfügig aus.

Auch der Einfluß der Außenlufttemperatur auf die Änderung des thermischen Auftriebs und damit der Durchlüftung kann vernachlässigt werden (Bild 8).

Einen guten Einblick in diese Zusammenhänge geben Druckverhältnisdigramme. Am Beispiel von Bild 9 läßt sich zeigen, daß selbst bei großen Windgeschwindigkeiten die Störgrößen Δp_{TA} und Δp_w einen Anteil von nur etwa zehn Prozent an der Gesamt-Druckdifferenz haben.

Hinsichtlich des Betriebsverhaltens differieren Vertikal- und Horizontalsystem nur insofern, als durch die Lüfterauswahl Typen mit unterschiedlichen Kennlinien eingesetzt werden und auf diese Weise Abweichungen als Funktion der Windgeschwindigkeit auftreten (Bild 10). Daraus folgt, daß aus rein lüftungstechnischer Betrachtungsweise beide Systeme gleichwertig sind. Die jeweilige Variantenauswahl muß demnach in erster Linie nach den jeweiligen Imponderabilien, d. h. Verfügbarkeit, Lagerhaltung, Reparaturaufwand, bautechnische Einflußgrößen, Schallpegel usw. erfolgen.

4. Das Problem der Flurlüftung

Von einigen Wohnungsbaubetrieben werden zusätzlich zur Wohnungslüftung Be- und Entlüftungsöffnungen im Bereich des Erschließungsflures installiert, um u. a. durch eine Druckverschiebung den Querlüftungseffekt infolge Winddruckdifferenzen zu verringern. Um eine Vorstellung über die Wirkung einer derartigen zusätzlichen Maßnahme zu vermitteln, soll für einen einfachen Fall ein Berechnungsmodell aufgestellt werden.

Wird Gleichdrucklüftung in den Wohnungen vorausgesetzt (eine Unterdrucklüftung verhält sich analog), so können bei Vernachlässigung des thermischen Auftriebs das Modell auf ein unabhängiges Geschob begrenzt und nach Bild 11 die Strömungsverhältnisse mit Hilfe des im Abschnitt 2.1. erläuterten Maschenverfahrens wie folgt mathematisch beschrieben werden:

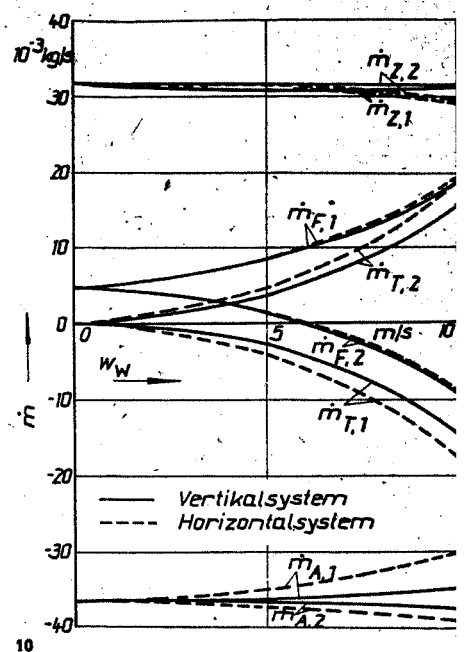
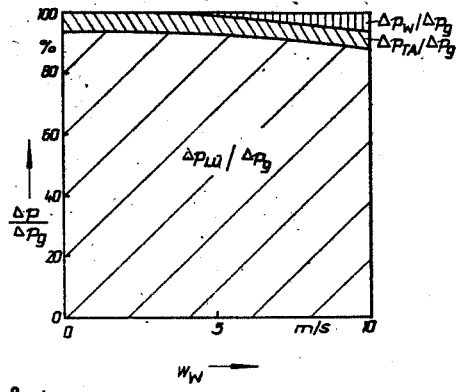
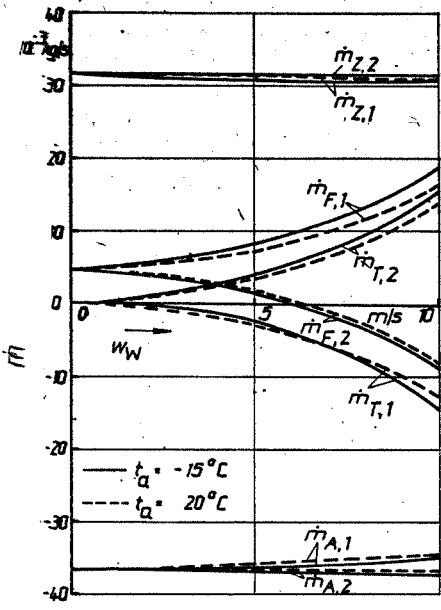
$$\text{Masche MI} \quad \Delta p_w = b_1 \dot{m}_1^2 + b_2 \dot{m}_2^2 \quad (26)$$

$$\text{Masche MII} \quad \Delta p_E = b_3 \dot{m}_3^2 + b_2 \dot{m}_2^2 \quad (27)$$

$$\text{Knotenbilanz} \quad \dot{m}_1 + \dot{m}_3 = \dot{m}_2 \quad (28)$$

Daraus ergibt sich z. B. die Beziehung

$$\dot{m}_1 \left\{ \dot{m}_1 \left(b_1 + b_2 + \frac{b_1 b_2}{b_3} \right) + 2b_2 \sqrt{\frac{b_1}{b_3} \dot{m}_1^2 - \frac{1}{b_3} (\Delta p_w - \Delta p_E)} \right\} + \frac{b_2}{b_3} \Delta p_E - \Delta p_w \left(1 + \frac{b_2}{b_3} \right) = 0 \quad (29)$$



- 8 Vergleich der Mengenströme für verschiedene Außenlufttemperaturen ($n = 2$, Vertikalsystem, Unterdrucklüftung)
- 9 Prozentualer Anteil der Druckdifferenz des Abluftventilators, des Winddrucks und des thermischen Auftriebes in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit ($n = 2$, $t_a = -15^\circ\text{C}$, Vertikalsystem, Unterdrucklüftung)
- 10 Vergleich der Mengenströme bei Vertikal- und Horizontalsystem ($n = 2$, $t_a = -15^\circ\text{C}$, Unterdrucklüftung)

nach deren iterativer Lösung der Mengenstrom \dot{m}_1 und anschließend die restlichen Unbekannten \dot{m}_2 und \dot{m}_3 bestimmt werden können. Hierbei werden Kenntnisse über die Werte der Winddruckdifferenz

$\Delta p_w = \Delta K \frac{\rho_a}{2} \varpi_w^2$, der Druckverlustbeiwerte b_1, b_2, b_3 und der

Nebenkanal-Druckdifferenz für die Flurlüftung Δp_E vorausgesetzt. Der Term \dot{m}_3 stellt dabei den Differenzluftmengenstrom zwischen Zu- und Abluft des Erschließungsflures $\dot{m}_3 = \Delta \dot{m}_E = \dot{m}_{E,Z} - \dot{m}_{E,A}$ dar.

Mit Hilfe des definierten statischen Drucks im Erschließungsflur p_E ist ein anderer Berechnungsablauf möglich. Ausgehend von der Mengenstrombilanz Gl. (28) entsteht unter Verwendung von Gl. (12) die Beziehung

$$\left(\frac{\Delta p_1}{b_1}\right)^{1/2} + \left(\frac{\Delta p_3}{b_3}\right)^{1/2} = \left(\frac{\Delta p_2}{b_2}\right)^{1/2}$$

bzw.

$$\left(\frac{K_1 \frac{\rho_a}{2} \varpi_w^2 - p_E}{b_1}\right)^{1/2} + \left(\frac{\Delta p_E}{b_3}\right)^{1/2} = \left(\frac{p_E - K_2 \frac{\rho_a}{2} \varpi_w^2}{b_2}\right)^{1/2} \quad (30)$$

Bei Vorgabe (bzw. Variation) von $\dot{m}_3 = \left(\frac{\Delta p_E}{b_3}\right)^{1/2}$ ist eine Bestimmung des Drucks p_E und damit der einzelnen Mengenströme \dot{m}_1 und \dot{m}_2 möglich.

Bild 12 können für ein ausgewähltes Beispiel die Mengenstromverläufe entnommen werden. Für die vorgegebenen Werte $\dot{m}_3 = 0,5 \cdot 10^{-3}$; $1,0 \cdot 10^{-3}$ und $2,0 \cdot 10^{-3}$ kg/s erfolgt ein Umschlag der Strömungsrichtung des Mengenstroms \dot{m}_1 (gegenüber der Annahme von Gl. (28)) im Bereich $\varpi_w = 0,2 \dots 1,0$ m/s. Der exakte Umschlagspunkt $\dot{m}_1 = 0$ kann aus Gl. (30) mit Hilfe der Bedingung

$p_E = K_1 \frac{\rho_a}{2} \varpi_w^2$ ermittelt werden

$$\varpi_w = \left(\frac{\Delta K \frac{\rho_a}{2}}{b_2}\right)^{-1/2} \dot{m}_3 \quad (31)$$

Bei Windstille stellt sich unter der Voraussetzung übereinstimmender Druckverlustbeiwerte $b_1 = b_2$ ein symmetrischer Strömungszustand in der Form

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = 0,5 \dot{m}_3$$

ein; die entsprechenden Werte können an der Ordinate abgelesen werden.

In Bild 13 ist ein Druckverlaufdiagramm für den Fall $\dot{m}_3 = 0,5 \cdot 10^{-3}$ kg/s dargestellt. Begrenzt von den beiden Außendruck

$K_1 \frac{\rho_a}{2} \varpi_w^2$ und $K_2 \frac{\rho_a}{2} \varpi_w^2$ wird die Stufenfunktion durch die

Druckverluste der Fenster und Türen gebildet, da voraussetzungsgemäß Wohnungen und Erschließungsflur keinen Druckverlust aufweisen. Mit steigender Windgeschwindigkeit nehmen die Differenzdrücke zwischen Luv und Lee zu, während sich der Wert des Druckes im Flurbereich relativ geringfügig ändert. Daraus folgt eine Zunahme der Querströmung. Am Beispiel der Windgeschwindigkeit $\varpi_w = 10$ m/s wird gezeigt, wie mit Hilfe zunehmender Luftmengenströme \dot{m}_3 der Druck im Flur erhöht und letztlich auf der Luvseite ein Mengenstrom völlig verhindert werden kann.

Daraus folgt, daß durch eine entsprechende Flurlüftung (bei der jedoch praktisch nur geringe Überdrücke erreicht werden können) die mögliche Querströmung gemindert und damit sogenannte Diskomfortzonen in den windzugewandten Wohnungen vermieden werden können. Eine energetische Betrachtungsweise führt zu keinen Unterschieden.

5. Lüftungsheizlast

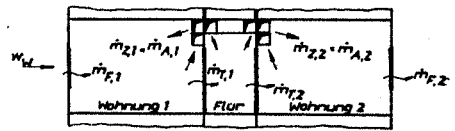
Die Neuformulierung der Berechnungsmethode zur Bestimmung der Lüftungsheizlast in TGL 26 760 [1] bezieht sich ausdrücklich nur auf Gebäude mit und ohne Schachtlüftung einschließlich der mechanischen Entlüftung. Die gekoppelte Be- und Entlüftung wird hiermit nicht erfaßt.

Unter Verwendung der in Abschnitt 3. vorgestellten Ergebnisse soll eine Abschätzung der Lüftungsheizlast für das Unterdrucksystem vorgenommen werden.

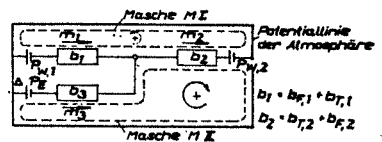
Vergleicht man die vorliegenden Werte mit denen der Standards, so ergeben sich die Verläufe nach Bild 14. Der Einfluß des Korrekturwertes $K = f(n)$ führt zu erheblichen Abweichungen sowohl bei gemittelten Werten als auch in den Funktionsanstiegen. Hier zeigt sich noch einmal der geringe Einfluß des thermischen Auftriebs. Der Vergleich mit der Normalbeziehung zur Berechnung der Lüftungsheizlast

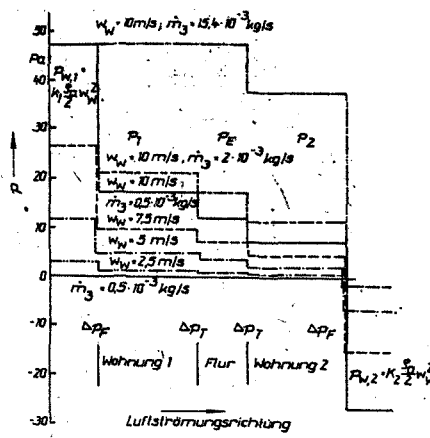
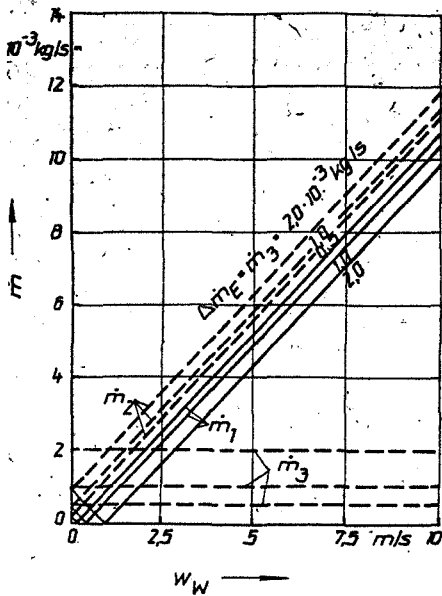
$$\dot{Q}_L = \sum (a_l) H B \Delta t,$$

die nur den Einfluß des Windes auf die Querlüftung berücksichtigt, bringt nahezu eine Übereinstimmung mit den exakten Verläufen. Aus den vorhandenen geringen Differenzen darf jedoch nicht die

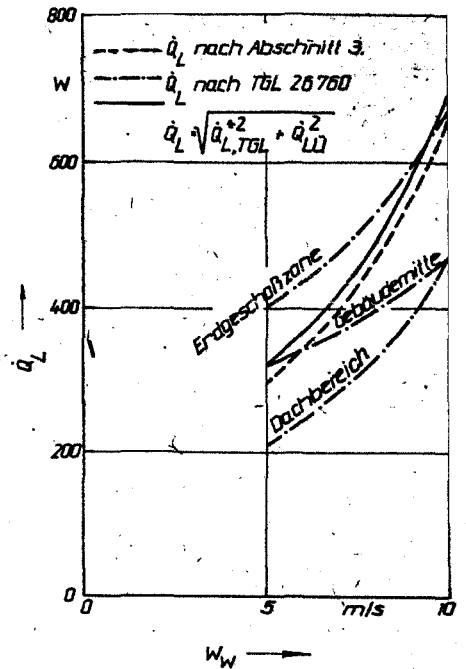


11 Berechnungsmodell und Maschenplan zur Bestimmung des Einflusses der Flurlüftung





12 Abhängigkeit der Mengenströme von der Windgeschwindigkeit (\dot{m}_3 vorgegeben)
 13 Druckverlaufdiagramm bei Gleichdrucklüftung
 14 Vergleich der Lüftungsheizlasten bei Unterdrucklüftung



12

Ausfolgerung gezogen werden, daß das Verfahren nach TGL als ausreichend für derartige Anlagen angesehen werden kann. Jede Veränderung des Differenzmengenstromes zwischen Ab- und Zuluft im Lüftungssystem ruft weitaus größere Abweichungen hervor. Um nun mit Hilfe der TGL-Werte die tatsächliche Lüftungsheizlast ermitteln zu können, sollte von folgender Berechnungsgrundlage ausgegangen werden.

Eine Verknüpfung der kalorischen Bilanz mit Gl. (12) in Form von

$$\dot{m} = \frac{\dot{Q}_L}{c_p \Delta t} = \sqrt{\frac{\Delta p}{b}}$$

führt nach einer Umstellung zu der Beziehung

$$\Delta p = b \left(\frac{\dot{Q}_L}{c_p \Delta t} \right)^2$$

Dieser Zusammenhang gilt gleichermaßen für die Druckquellen Wind und Lüfter (die Beibehaltung der Strömungsrichtung wird vorausgesetzt). Bei Überlagerung der Einzelwerte

$$\Delta p_{ges} = \Delta p_w + \Delta p_{Lü}$$

läßt sich letztlich

$$\Delta p_{ges} = \frac{b}{(c_p \Delta t)^2} (\dot{Q}_{L,w}^2 + \dot{Q}_{L,Lü}^2) = \frac{b}{(c_p \Delta t)^2} \dot{Q}_{L,g}^2$$

und damit

$$\dot{Q}_{L,g} = \sqrt{\dot{Q}_{L,w}^2 + \dot{Q}_{L,Lü}^2} \quad (32)$$

schreiben. Die teilweise übliche einfache Addition der beiden Terme führt demnach nur bei geringen Werten beider Ausdrücke oder bei zahlenmäßigem Überwiegen eines Anteils zu näherungsweise richtigen Ergebnissen.

In Bild 14 ist Gl. (32) grafisch ausgewertet. Dabei ergeben sich Differenzen zu den exakten Ergebnissen, die auf die Verwendung von TGL-Werten in der Form $\dot{Q}_{L,w} = \dot{Q}_{L,TGL} \cdot (K = 1!)$ zurückzuführen, jedoch für die praktische Anwendung völlig unerheblich sind.

Mit Gl. (32) bzw. in ihrer angewandten Form

$$\dot{Q}_{L,ges} = \sqrt{\dot{Q}_{L,TGL}^2 + [(\dot{m}_A - \dot{m}_Z) c_p (t_i - t_a)]^2}$$

bzw.

$$\dot{Q}_{L,ges} = \sqrt{[(\sum(a) HB)^2 + ((\dot{m}_A - \dot{m}_Z) c_p)^2] (t_i - t_a)^2}$$

steht dem Anwender eine Beziehung zur Verfügung, mit der ohne großen rechnerischen Aufwand, jedoch mit ausreichender Genauigkeit die Lüftungsheizlast einer Wohnung in Gebäuden mit Be- und Entlüftungsanlage (bzw. Schachtlüftungsanlagen mit vernachlässigbarem thermischem Auftrieb) bestimmt werden kann. Wird davon ausgegangen, daß die Winddruckdifferenz über einer Fassade als konstant angesehen werden kann, so sollte die Aufteilung der Gesamt-Lüftungsheizlast auf die einzelnen Räume nach der Verteilung der Strömungswiderstände (Fenster, Loggiatüren) erfolgen.

Die Lüftungsheizlast für das Gleichdrucksystem errechnet sich über die normale Beziehung

$$\dot{Q}_L = \dot{Q}_{L,TGL} \cdot (K = 1!) \quad (33)$$

6. Zusammenfassung

Speziell für Gebäude mit Be- und Entlüftungsanlagen bestehen z. Z. noch Unsicherheiten hinsichtlich der Durchlüftung des Gebäudes und der sich daraus ergebenden Lüftungsheizlast. In Auswertung der vorgelegten Untersuchung lassen sich folgende Regeln zur Bemessung dieser Wohnungslüftung aufstellen:

- Die für Be- und Entlüftungsanlagen einzusetzenden Lüfter haben Differenzdrücke, die das sogenannte Stabilitätskriterium erfüllen und eine von den atmosphärischen Bedingungen nahezu unabhängige Lüftung des Küche/Bad-Bereiches garantieren.
- Der Lüfterdrucksprung wirkt sich nur geringfügig auf die Querlüftung und die vertikale Luftströmung im Aufzugschacht aus. In beiden Fällen sollte in erster Linie durch bauliche Maßnahmen (geringere Fugendurchlaßkoeffizienten) eine Verminderung der Luftmengenströme angestrebt werden.
- Eine Verringerung der Querlüftung ist außerdem durch Überdruckbildung im Erschließungsflur zu erreichen, wobei u. a. aus Gründen der Zugfreiheit der Größe des Überdrucks Grenzen gesetzt sind.
- Bei höhenmäßiger Untergliederung der Be- und Entlüftungsanlage ergeben sich gegenüber dem ungestuften System keine Unterschiede hinsichtlich Auslegung und Betriebsverhalten.
- Die Bemessung der Be- und Entlüftungsanlage kann unter Vernachlässigung der Wind- und thermischen Auftriebskräfte vorgenommen werden.
- Eine näherungsweise Bestimmung der Durchlüftung des Gebäudes ist mit Hilfe der angegebenen Methoden möglich.

7. Literatur

- [1] Richter, W.: Ein Vorschlag zur Berechnung der Lüftungswärmelast in der neuen TGL 26 760 „Heizlast von Bauwerken“.
- [2] „Stadt- und Gebäudetechnik“ 7 (1975) H. 4/5, S. 110 bis 114
- [3] TGL 26 760 „Heizlast von Bauwerken“
- [4] Konstantinowa, W. E.: Lüftungsprobleme im Wohnungsbau. VEB Verlag für Bauwesen, Berlin 1972
- [5] Richter, W.: Der Einfluß des thermischen Auftriebs auf den Lüftungswärmebedarf von mehrgeschossigen Gebäuden.
- [6] „Stadt- und Gebäudetechnik“ 6 (1974) H. 6, S. 165 bis 170
- [7] Luftdurchlaßelement aus PVC. Informationsmaterial vom VEB TGA Stralsund
- [8] Karolak, J.: Wentylacja wysokich budynków mieszkalnych.
- [9] „COW“ (1973) H. 2, S. 53 bis 59
- [10] Esdorn, H. / Brinkmann, W.: Lüftungswärmebedarf von Gebäuden unter Wind und Auftriebseinflüssen.
- [11] „Gesundheitsingenieur“ 99 (1978) H. 4, S. 81 bis 84, 103 bis 105
- [12] Baturin, W. W.: Lüftungsanlagen für Industriebauten. VEB Verlag Technik, Berlin 1959