

Zur Luftdurchlässigkeit von Fensterfugen

Benndorf, D.¹⁾

Deskriptoren: Lüftungstechnische Grundlage, Raumlastberechnung, Lüftungswärmebedarf, Gebäude; Lüftungswärmebedarf, Luftdurchlaß, Undichtigkeit, Fenster, Tür; Lüftungswärmebedarf, Luftdurchlaß, Fenster, Darstellung, Grundlage, theoretisch, Vergleich, Meßwert, Versuch, Windkanal; Wärmeenergie, Wärmemenge, Verlust, Reduzieren, Toleranz, Abmessung, Montagetechnologie, Fenster;

Der Lüftungswärmebedarf eines Gebäudes ist nach TGL 112-0319 im wesentlichen von der Fugendurchlässigkeit seiner Fenster und Türen abhängig. Diese streut jedoch stark. Die Verluste an Wärmeenergie können durch Toleranzangaben für Fugenabmessungen erheblich vermindert werden. Solche Toleranzen ergeben zulässige Widerstandsbeiwerte ζ für unterschiedliche Fensterklassen. Entsprechend den hygienischen Anforderungen ist dann die Auswahl in einem engen Streubereich möglich.

Windkanalversuche bewiesen eine starke Abhängigkeit der Luftdurchsätze von der Windrichtung und der Einbauweise.

Für die Berechnung des Wärmebedarfs von Gebäuden ist TGL 112-0319 (Ausgabe 1964) verbindlich.

Durch großen Spielraum bei der Vorgabe der Luftdurchsatzwerte der Fenster- und Türfugen, durch Nichtberücksichtigung bestimmter Einflußgrößen bzw. durch teilweise bei höheren Baukörpern nicht voll den physikalischen Vorgängen entsprechende Berechnungsweise, treten größere Abweichungen vom realen Lüftungswärmebedarf auf. Von Dietze wird in einer Studie [1] eingeschätzt, daß diese Energieverluste bis zu 10% des Gesamtwärmebedarfs betragen können. Im Windkanal I des Bereichs Strömungstechnik, Sektion Energieumwandlung, der TU Dresden wurden Untersuchungen an Holz-, Plast- und Metallfenstern durchgeführt. Die Messungen erfolgten im Auftrag der Bauakademie der DDR, Institut für Heizungs-, Lüftungs- und Sanitärtechnik. Ziel dieser Untersuchungen war es, durch Messungen an einigen ausgewählten Fenstern genauere Informationen über die Fensterfugendurchlässigkeiten unter gleichzeitiger Berücksichtigung des Windangriffs zu erhalten, sowie die Angaben über die Haus- und Raumkenngrößen zu beurteilen²⁾.

Der Lüftungswärmebedarf

Bei der natürlichen Belüftung eines Gebäudes errechnet sich der Lüftungswärmebedarf nach Standard zu

$$Q_L = \Sigma (a \cdot l)_{\perp} \cdot H_K \cdot R_K \cdot \Delta t \cdot z_E \quad [\text{kcal/h}].$$

Der Lüftungswärmebedarf Q_L ist das Produkt aus der Summe aller Volumenströme durch Fensterfugen in der ungünstigsten Anströmrichtung $\Sigma (a \cdot l)_{\perp}$, der Hauskenngröße H_K , der Raumkenngröße R_K , der Temperaturdifferenz zwischen innen und außen Δt und dem Eckfensterzuschlag z_E .

Diese Formel fußt auf Berechnungen von *Krischer* und *Beck* [2] für ebene Durchströmung eines Gebäudes. Eine Druckänderung über der Höhe des Gebäudes sowie der Einfluß verbundener, benachbarter Etagen, wird nicht berücksichtigt. Das ist für niedrige Baukörper bis zu 20 m mit natürlicher Belüftung zulässig. Der thermische Auftrieb im Bauwerk ist noch gering gegenüber dem Windeinfluß. Die Windgeschwindigkeit ändert sich mit der Höhe noch nicht stark. Die Temperaturdifferenz kann leicht und genügend genau ermittelt und berücksichtigt werden.

Somit hängt der Lüftungswärmebedarf nur noch von der Luftdurchlässigkeit der Fenster und Türen sowie von der Haus- und Raumkenngröße H_K und R_K ab. Diese sind jedoch ihrerseits wieder Funktionen der Luftdurchlässigkeit.

Für die auftretenden großen Streuungen beim Lüftungswärmebedarf sind letztlich die Luftdurchlässigkeiten der Fenster- und Türfugen hauptverantwortlich. Sie müssen in erster Linie überprüft werden.

Fenster und Türen als Widerstandselemente beim Durchströmen von Gebäuden

Beim Auftreffen des Windes auf ein Gebäude verringert sich die Geschwindigkeit. Ein Teil der kinetischen Strömungsenergie wird in potentielle Druckenergie umgewandelt. Das führt zur Erhöhung des Drucks an der angeströmten Außenwand. Im Staubereich vergrößert sich der örtliche Druck deshalb um den Staudruck q_{∞} der ungestörten Strömung. An den Seiten nimmt die Geschwindigkeit zu; es sinkt der örtliche Druck. Der auf der windabgewandten Hausseite sich ergebende Unterdruck ist hauptsächlich von der Gebäudestreckung λ und dem Anströmwinkel abhängig [3][4]. Zwischen der Luv- und Leeseite bilden sich damit bei Windangriff örtlich verschiedene Druckunterschiede heraus, die ihrerseits Ursache von Luftströmungen im Gebäude sind. Infolge der Undichtheiten der Fenster und Türen kommt es zu einem Durchströmen der inneren Räume. Diese Strömung überlagert sich mit einer im Gebäude bereits vorhandenen thermischen Auftriebsströmung.

Fenster und Türen stellen diesem Durchströmen unterschiedlichen Widerstand entgegen, erzeugen demgemäß auch je nach Bauweise unterschiedlichen Druckabfall Δp_V . Er ist abhängig von der Strömungsform in den Fenster- und Türfugen. Das Durchströmen der Fugen kann bei kleinen Spalten und Geschwindigkeiten \bar{c} laminar geschichtet oder bei größeren Abmessungen und Geschwindigkeiten turbulent verwirbelt erfolgen. Bei laminarer Strömung gilt $\Delta p_V \sim \bar{c}$, während bei turbulenter Strömung der Zusammenhang $\Delta p_V \sim \bar{c}^2$ besteht. Möglich ist auch, daß nach kurzer Lauflänge innerhalb des Spalts eine anfänglich laminare Strömung zur Turbulenz umschlägt. In TGL 112-0319 wird der Volumendurchsatz \dot{V} durch eine empirische Gleichung bestimmt

$$\dot{V} = a \cdot l \cdot \Delta p^{0,4}.$$

Hierbei ist l die Fugenlänge; a ist der dimensionsbehaftete „Luftdurchlässigkeitsbeiwert“, der sich bei 1 kp/m² Druckdifferenz als Quotient aus dem Volumenstrom, geteilt durch die Fugenlänge, ergibt. Die a -Werte stellen obere Grenzwerte für die Projektierung dar, die jedoch in der Ausführung oft weit unter- und überschritten werden. Fugenabweichungen werden damit nicht erfaßt. So können unvermeidbar hohe Abweichungen vom projektierten a -Wert auftreten. Für die Beurteilung der Qualität eines Fensters hinsichtlich seines Luftdurchsatzes ist es daher zweckmäßiger, künftig dimensionslose Kennwerte anzugeben. Durch das Eingehen auf die Vorschriften der Ähnlichkeitsmechanik erhält man die Möglichkeit, das in der Strömungstechnik allgemein zur Verfügung stehende Wissen — hier beispielsweise über Spaltströmung und Widerstandsbeiwerte — zur Beurteilung und zum Vergleich mit heranziehen zu können.

In der Strömungstechnik verwendet man bei der Berechnung des Druckverlustes eines Durchströmteils einen rein quadratischen Ansatz für die Geschwindigkeit \bar{c}

$$\Delta p_V = \zeta \cdot \frac{\rho}{2} \bar{c}^2,$$

¹⁾ Dr.-Ing. Benndorf, D., TU Dresden, Sektion Energieumwandlung, Bereich Strömungstechnik, Bereichsleiter Prof. Dr.-Ing. Albring, W.

²⁾ Der Verfasser dankt an dieser Stelle Herrn Prof. Dr.-Ing. W. Albring für die wertvollen Hinweise bei der Durchführung der Arbeiten. Herrn Dipl.-Phys. Beger und Herrn Ing. Hanold sei für ihre gute Mitarbeit gedankt.

worin ζ ein dimensionsloser Widerstandsbeiwert ist, der durch den Versuch bestimmt wird.

Nach Definition ist die Differenz der Gesamtdrücke vor und hinter dem Fenster gleich dem Gesamtdruckverlust Δp_V . Bei Messungen an Gebäuden wird nur die statische Druckdifferenz Δp (Druck an der Außenfassade minus statischer Innendruck) gemessen

$$\Delta p = \zeta \cdot \frac{\rho}{2} \bar{c}^2 + \frac{\rho}{2} (c_i^2 - c_a^2).$$

Die Geschwindigkeit vor dem Fenster c_a ist genügend weit vor dem Fenster der ungestörten Anströmgeschwindigkeit c_∞ gleichzusetzen. Die Geschwindigkeit im Innenraum c_i geht gegen Null. Mit der Gleichung für den Volumenstrom wird der Widerstandsbeiwert [5]

$$\zeta = \frac{2}{\rho} \cdot \left(\frac{A}{\dot{V}} \right)^2 (\Delta p + q_\infty).$$

Hierbei ist ρ die Dichte der Luft, q_∞ der Staudruck, $A = 1/2 l \cdot s$ die durchströmte Fugenfläche, die quadratisch in den Kennwert eingeht; s ist die Fugenbreite.

Aus der Literatur können statische Versuche ohne Windangriff an Fenstern [6] bis [9] zu Vergleichszwecken herangezogen werden. In diesem Fall wird der örtliche statische Druck gleich dem Gesamtdruck, weil $q_\infty = 0$ ist. Die statische Druckdifferenz Δp ist dann gleich dem Gesamtdruckverlust Δp_V . Der Volumendurchsatz ergibt sich damit zu

$$\dot{V} = A \cdot \sqrt{\frac{2 \Delta p_V}{\rho \cdot \zeta}}.$$

Der Luftdurchsatz \dot{V} ist somit direkt von den Toleranzen der Spaltabmessungen abhängig. Nun wird innerhalb einer Serie maschinell gefertigter Fenster eine gewisse Toleranzbreite der Fugenabmessungen festzustellen sein, die zu unterschiedlichen ζ -Werten für jedes Einzelfenster führt. Für die Serie kann also kein Festwert ζ angegeben werden, sondern eine untere und obere Grenze, die durch die größten und kleinsten Fugenflächen A gegeben sind. Toleranzgrenzen für die Fugennennmaße geben somit zulässige Abweichungen für den ζ -Wert eines Fensters.

Wir können vorwegnehmen, daß die nach Standard zu erwartenden Durchlässigkeiten fünf- bis sechsmal größer waren, als die im Windkanal gemessenen (Bild 5). Durch Einführung von Fugentoleranzen können die Abweichungen des Luftdurchsatzes vom Projektierungswert nach Standard erheblich vermindert werden. Damit wird ein Beitrag zur Präzisierung der Kenntnisse über das Vorausberechnen des Wärmebedarfs geleistet.

Im Bild 1 sind als Beispiel die im statischen Versuch ermittelten Luftdurchsatzwerte an einem Holzfenster in Abhängigkeit von der Fugenbreite s und der Druckdifferenz Δp dargestellt. Durch Unebenheiten der Fugen war auch bei Spaltbreite Null effektiv eine Durchströmfläche vorhanden. Im Bild 2 wurden für drei Druckverhältnisse die Widerstandsbeiwerte ζ errechnet, die bei konstanter Tiefe zu bestimmten Fugenbreiten gehören.

Für entsprechende Fensterklassen wären nun Fugentoleranzen vorzuschreiben. Damit ist der Streubereich des Luftdurchsatzes entscheidend eingengt. Die Auswahl der Fenster kann vom Projektanten nach hygienischen Luftwechselanforderungen erfolgen.

Meßergebnisse an Einzelfenster und Fensterreihen

Alle bisher in der Literatur beschriebenen Volumendurchsatzmessungen an Fensterfugen wurden ohne direkten Einfluß des Windes durchgeführt. Die Fenster können sich jedoch im Staubereich des Windes mit schräg bis senkrecht auftreffender Strömung wie auch an den Ecken des angeströmten Gebäudes mit parallel zur Wand verlaufender Strömung befinden. Weiterhin wird nicht gleichgültig sein, ob

das Fenster bündig mit der Hauswand oder vertieft eingesetzt ist.

Um diese Strömungsverhältnisse an der Hauswand nachzubilden zu können, wurde ein Kreistragflügel — das ist eine innen hohle, druckdichte Scheibe — im Luftstrahl des großen Windkanals angeordnet. Diese Scheibe war um zwei Achsen drehbar (Bild 3). Das zu untersuchende Fenster konnte

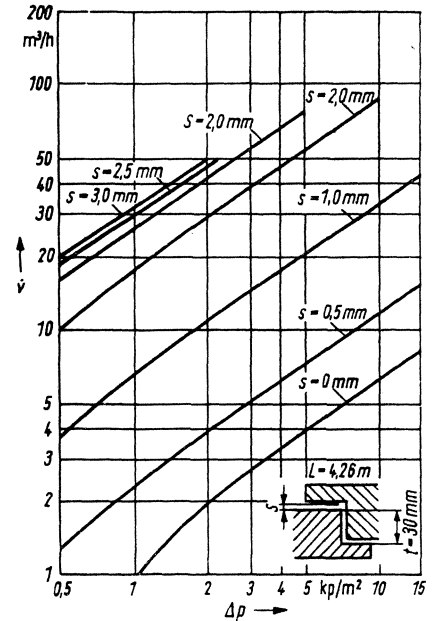


Bild 1
Luftdurchlässigkeit \dot{V} eines Holzfensters in Abhängigkeit von der Fugenbreite s und der Druckdifferenz Δp

Bild 2
Der Widerstandsbeiwert ζ eines Holzfensters in Abhängigkeit von der Spaltbreite s und der Druckdifferenz Δp

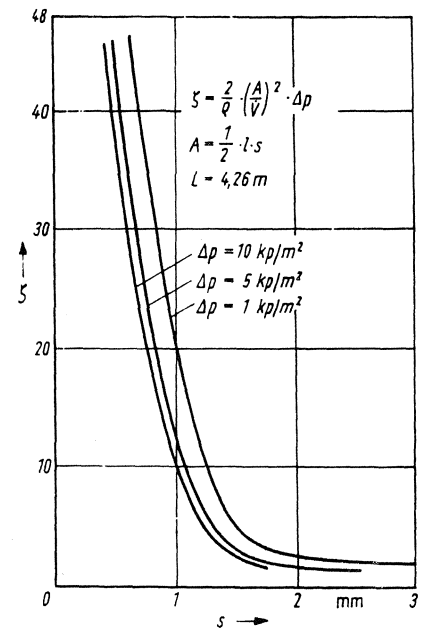
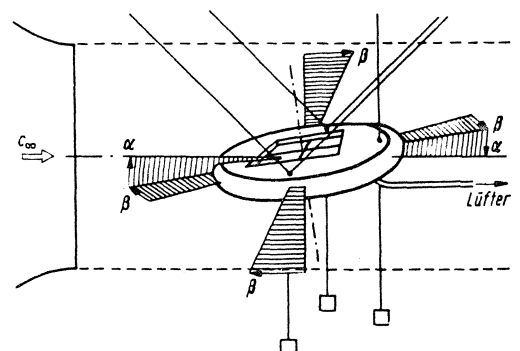


Bild 3
Definition der Anströmwinkel α und β am Fenster



Tafel

Lfd. Nr.	Art	Werkstoff	Bemerkungen	Abmessungen mm
1	Mehrscheibenfenster	Holz	mit Filzdichtung	900 × 1230
2	Mehrscheibenfenster	Plast	mit Lippendichtung	820 × 830
3	Einscheibenfenster	Metall	mit Dichtung ohne Wetterschenkel	900 × 1140
4	Einscheibenfenster	Metall	mit Dichtung und Wetterschenkel	900 × 1140

bündig oder vertieft eingesetzt werden. Ein Lüfter erzeugte in der Scheibe den gewünschten statischen Unter- oder Überdruck p_i . Die Volumendurchsätze wurden mit Normblenden gemessen. Die Kalibrierung erfolgte mit einem Kammergaszähler. Die Untersuchungen erfolgten an Fenstertypen entsprechend Tafel 1.

Im Bild 4 sind die Fugenformen aller Fenster im Schnitt zusammengestellt. Bei bündigem Einbau schloß sich der äußere Rahmen auch bündig an die Versuchsscheiben-Oberfläche an.

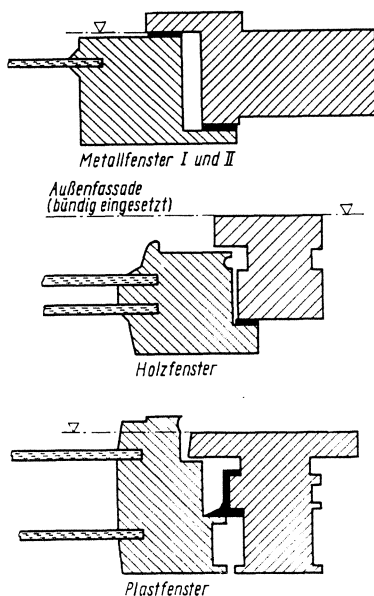


Bild 4. Fugenformen der im Windkanal untersuchten Fenster

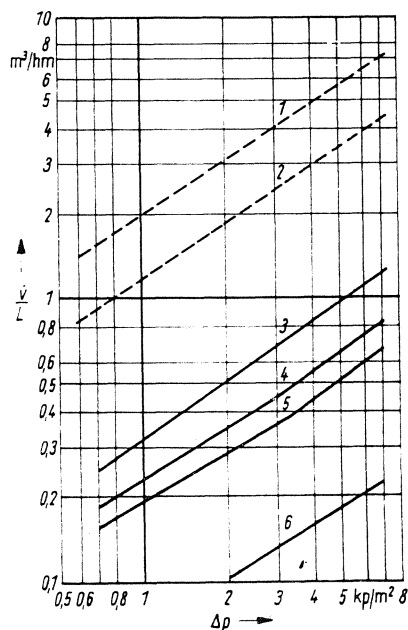


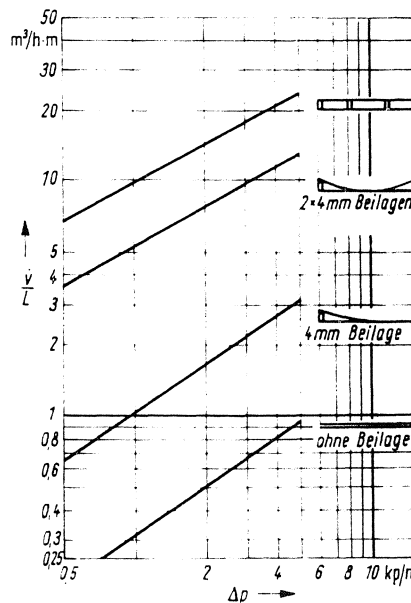
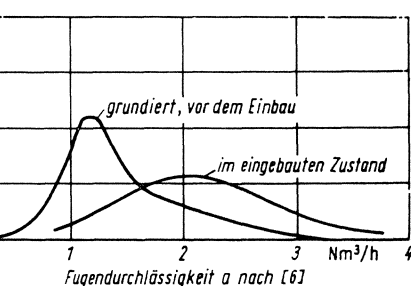
Bild 6. Häufigkeit des Auftretens einer bestimmten Fugendurchlässigkeit a bei 159 Holzverbundfenstern verschiedener Hersteller nach [4]

Bild 5. Der Luftdurchsatz an vier ausgewählten Fenstern.

berechnet nach Standard
 1 Holz- und Kunststoff-, Doppel- und Einfachfenster mit Dichtung nach TGL 112-0319
 2 Metall-, Doppel- und Einfachfenster mit Dichtung nach TGL 112-0319

gemessen im Windkanal
 3 Holz- und Mehrscheibenfenster mit Dichtung
 4 Metallfenster II mit Dichtung
 5 Metallfenster I mit Dichtung
 6 Plastfenster mit Dichtung

Bild 7. Luftdurchsatz an einem Holzfenster, abhängig von der Druckdifferenz und der Fugenform ($q_{\infty} = 0$)



Ohne Windeinfluß ergaben sich die im Bild 5 dargestellten Durchsätze.

Erkennbar ist, daß die gemessenen Volumenströme nur 1/5 bis 1/6 der nach Standard anzusetzenden Werte erreichten. Bei dem Plastfenster wurde sogar nur 1/20 des Standard-Werts registriert. Anzunehmen ist, daß die von verschiedenen Betrieben ausgewählten Fenster nicht Stichproben der laufenden Fertigung darstellen, sondern daß es sich um eine positive Auswahl handelt.

Schüle [6] untersuchte aufgrund solcher Erfahrungen 159 Holzverbundfenster und 58 Metallfenster laufender Serien verschiedener Hersteller. Dabei bewies sich, daß die Serienfenster weitaus durchlässiger als die vorausgelieferten Einzelfenster waren. Der häufigste Volumendurchsatz lag bei 1,2 m³/h bei $\Delta p = 1 \text{ kp/m}^2$ und 1 m Fugenlänge (Bild 6). Nur einzelne Fenster hatten über 3 m³/h Durchsatz.

Um den Einfluß von Bauabweichungen und Beschädigungen nachzubilden, wurden bei den Fenstermessungen im Windkanal durch Beilagen Verformungen der Fensterflügel und Veränderungen der Spalte erzeugt. Solche Formänderungen können sich auch bei Metall- und Plastfenstern, z. B. bei unsachgemäßem Einbau, ergeben (Bild 7).

Bei den statischen Messungen ist entlang der gesamten Fuge des Fensters die Druckdifferenz gleichgroß. Das stimmt bei Windangriff jedoch nicht mit den realen Verhältnissen überein. Je nach Lage der Schließfuge zur Windrichtung vermindert oder erhöht sich die an dieser Fuge wirksame Druckdifferenz.

Im Bild 8 ist die Abhängigkeit des Volumendurchsatzes je Meter Fugenlänge von der Richtung der Anströmung und der auftretenden Druckdifferenz an einem Holzfenster dargestellt.

Nach diesem Diagramm ergeben sich (bei einer effektiven Spaltbreite $s = 1 \text{ mm}$ und bei $\Delta p = 1 \text{ kp/m}^2$) Abweichungen auf den dreifachen Wert bzw. auf 1/3 der Werte bei Windgeschwindigkeit entsprechend einem Staudruck $q = 10 \text{ kp/m}^2$

gegenüber der reinen statischen Druckdifferenz bei $q = 0$. Bei außergewöhnlich freier Lage und ausgeprägter Hauptwindrichtung kann also schon die Anordnung der Schließfuge zur Windrichtung von erheblicher Bedeutung sein. Im Bild 9 sind die auf den statischen Fall bezogenen Luftdurchsatzwerte als Funktion des mit dem statischen Druck dimensionslos erhaltenen Staudrucks dargestellt. Sowohl die Messungen an den Metallfenstern wie auch am Kunststofffenster ergeben einen deutlichen Anstieg der Durchsatzwerte mit steigendem Staudruck bei vertieftem Einsatz des Fensters. Hingegen vermindert sich der Luftdurchsatz bei bündiger Einbauweise.

Damit ergibt sich eine weitere Möglichkeit, den Luftdurchgang durch Fensterfugen durch die Einbauweise zu beeinflussen. Der Unterschied im Volumendurchsatz bei bündigen Fenstern im Vergleich zum vertieft eingesetzten folgt aus der abweichenden Druckverteilung über der Fensterfläche. Bei dem tiefgesetzten ist der stärkere Einfluß einer Abreiß- und einer Staukante vorhanden. Hinter der Abreißkante bildet sich ein relatives Unterdruckgebiet und vor der Staukante entsteht relativer Überdruck. Befindet sich die Schließfuge im Bereich höheren Drucks, so ist auch der Luftdurchsatz größer.

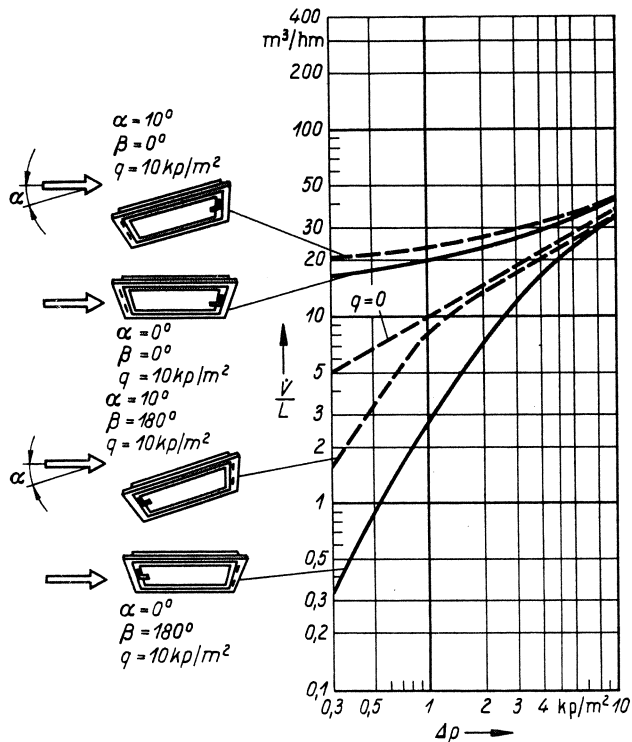


Bild 8. Luftdurchsatz an einem Holzfenster in Abhängigkeit von der Anströmrichtung und -geschwindigkeit ($s = 1 \text{ mm}$)

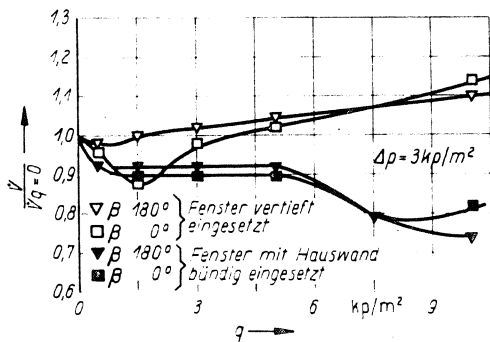


Bild 9. Luftdurchsatz an einem Kunststofffenster in Abhängigkeit vom Staudruck, der Anströmrichtung und der Einbauweise ($\Delta p = 3 \text{ kp}/\text{m}^2, \alpha = 10^\circ$)

Veränderung der Fugendurchlässigkeit bei Einbau und Alterung

Von Schüle [6] wurde an insgesamt 217 Fenstern im eingebauten Zustand ein um durchschnittlich $1 \text{ m}^3/\text{h}$ größerer Volumendurchsatz je Meter Fugenlänge (bei $\Delta p = 1 \text{ kp}/\text{m}^2$) gemessen als vor dem Einbau. Thieme [9] untersuchte 100 Holzfenster vor und 14 Monate nach ihrem Einbau. Auch hier wird von erheblichen Veränderungen des Durchsatzes gesprochen. Diese Erhöhung ist vor allem auf Undichtheit zwischen Fensterrahmen und Mauerwerk zurückzuführen. Jedoch erhöhten sich die Durchsätze z. B. auch durch die nachträgliche Lackierung im feuchten Bauzustand und damit verbundene Nacharbeiten an verquollenen Fenstern. Auch hier wird auf die große Streuung hingewiesen. Insbesondere bei etwa 70% aller Fenster überschritten die Fugenbreiten $0,6 \text{ mm}$, obwohl $0,2$ bis $0,5 \text{ mm}$ als zweckmäßig angegeben wurden. 10% waren $\leq 0,1 \text{ mm}$. Bei der quadratischen Abhängigkeit des Widerstandsbeiwerts von der Fugenbreite führen solche Bauabweichungen zu unzulässig großen Streubereichen, die jede genauere Berechnung unmöglich machen. Die Erhöhung der Fugendurchlässigkeit durch Alterung war nach Messungen von Schüle nach 3 Jahren bei 8 Fenstern nur max. 26% des Normwerts, also von untergeordneter Bedeutung.

Zusammenfassung

Der Lüftungswärmebedarf eines Gebäudes ist nach TGL 112-0319 im wesentlichen von der Fugendurchlässigkeit seiner Fenster und Türen abhängig.

Diese Fugendurchlässigkeit streut jedoch bei allen herkömmlichen Fenstertypen sehr stark. Es entstehen Verluste an Wärmeenergie. Fenster und Türen stellen Widerstandselemente beim Luftdurchsatz durch ein Gebäude dar. Vorteilhaft ist es, für Fenster dimensionslose Widerstandsbeiwerte ζ anzugeben. Sie sind Funktion der Fugenform und des Volumendurchsatzes.

Toleranzgrenzen für die Fugenmaße ergeben zulässige Abweichungen für den ζ -Wert der Fenster, und damit wird der Luftdurchsatz berechenbar.

Die Luftdurchsatzwerte, wie sie bei Fensteruntersuchungen mit statischer Druckdifferenz in ruhender Luft gemessen wurden, können, bei Berücksichtigung des Windeinflusses und unterschiedlicher Windrichtung, erhebliche Abweichungen zeigen. Das ergaben Messungen im Windkanal I der TU Dresden an Originalfenstern.

Danach ist der Luftdurchsatz stark von der Lage der Schließfuge zur Hauptwindrichtung abhängig. In gleicher Weise besteht eine Abhängigkeit von der Einbautiefe des Fensters. Der Luftdurchsatz bei statischen Messungen erreichte bei allen gemessenen Fenstern mit Dichtungen nur maximal $1/5$ der Projektierungswerte nach TGL 112-0319.

Nach vorliegenden Erfahrungen erhöht sich jedoch beim Einbau des Fensters seine Luftdurchlässigkeit um durchschnittlich $1 \text{ m}^3/\text{h}$ je Meter Fugenlänge bei $1 \text{ kp}/\text{m}^2$ Druckdifferenz. Dem sorgfältigen Einbau ist deshalb größte Beachtung zu schenken, wenn der Vorteil, der sich aus der Einführung von Fertigungstoleranzen für Fensterfugen ergibt, nicht wieder beseitigt werden soll.

Bezeichnungen

$A = \frac{1}{2} l \cdot s$	Fugenfläche
$a = \frac{\dot{V}}{l \cdot \Delta p^{0,5}}$	Luftdurchlässigkeit je m Fugenlänge bei $1 \text{ kp}/\text{m}^2$ Druckunterschied
c	Strömungsgeschwindigkeit
$\frac{c}{c}$	Strömungsgeschwindigkeit in der Fuge
H_K	Hauskenngröße in kcal je m^3 und Grad
l	Fugenlänge
p	statischer Druck
p_{ges}	Gesamtdruck
$\Delta p = p_a - p_i$	statische Druckdifferenz
Δp_V	Gesamtdruckverlust in der Fuge
Q_L	Lüftungswärmebedarf in kcal je Stunde

$q = \frac{\rho}{2} c^2$	Staudruck
RK	Raumkenngröße
s	Fugenbreite
$\Delta t = t_i - t_a$	Temperaturdifferenz
\dot{V}	Volumenstrom
zE	Eckfensterzuschlag
α	Anstellwinkel
β	Anströmwinkel
$\zeta = \frac{\Delta p V}{\frac{\rho}{2} c^2}$	Widerstandsbeiwert
ρ	Dichte

Indizes

a	außen
i	innen
∞	ungestörte Anströmung

Literatur

[1] Dietze, L.: Themenstudie „Wärmelastberechnung“. Bauakademie der DDR, Institut für Heizungs-, Lüftungs- und Sanitärtechnik, 1971, unveröff.

- [2] Krischer, J. O.; Beck, H.: Die Durchlüftung von Räumen durch Windangriff und der Wärmebedarf für die Lüftung. VDI-Berichte 18 (1957) S. 29 ff.
- [3] Benndorf, D.; Scholz, H.: Der Einfluß der Gebäudeanordnung auf die Luftbewegung, Teil I. Forschungsbericht der TU Dresden, Sektion Energieumwandlung, Bereich Strömungstechnik, Windkanal I, 1974, unveröff.
- [4] Albring, W.: Hochbau und Windbeanspruchung. 1974 zur Veröff. vorgelesen in Deutsche Architektur.
- [5] Benndorf, D.: Abschlußbericht über Untersuchungen zur Luftdurchlässigkeit von Fenstern. Forschungsbericht Nr. 114 der TU Dresden, Sektion Energieumwandlung, Bereich Strömungstechnik, Windkanal I, unveröff.
- [6] Schüle, W.: Untersuchungen über die Luft- und Wärmedurchlässigkeit von Fenstern. Gesundh.-Ing. (1962) 6.
- [7] Cammerer, J. S.; Hirschbold, F. X.: Der Einfluß der Fensterbauart auf den Luftdurchgang. Gesundh.-Ing. (1938) 29.
- [8] Reiher, H.; Frauß, K.; Settele, E.: Über die Frage der Luft- und Wärmedurchlässigkeit von Fenstern. Wärmewirtschaftliche Nachrichten 6 (1933), S. 42 ff.
- [9] Thieme, H.: Die Maßgenauigkeit der Dichtungsfalze am Verbundfenster aus Holz. Wiss. Zeitschr. der TU Dresden 11 (1962) 1.

LKT 362 28. 2. 1974

Die turbulente Vermischung in Freistrahlen unter Berücksichtigung von Dichteunterschieden

DK 697.922.001.11
KLK 117.3

Schlanzke, G.¹⁾

Deskriptoren: Luftbehandlung, Luftströmung, Freistrahler, eben, rotationssymmetrisch, Dichte, variabel; Strömungstheorie, Strömungsgesetz, Freistrahler, Mischen, Umgebung; Freistrahler, Darstellung, Berechnung, Gleichung;

Für ungestörte Freistrahler mit veränderlicher Dichte konnten, aufbauend auf den Erhaltungssätzen für Impuls, Energie und Masse, Berechnungsgrundlagen abgeleitet werden. Die Integration der Erhaltungssätze gelang durch Ansetzen Gaußscher Fehlerverteilungsfunktionen für die Geschwindigkeits-, Temperatur- und Konzentrationsverteilungen senkrecht zur Strahlachse. Die Unterschiede beim Austausch von Impuls, Wärme und Masse wurden durch unterschiedliche Ausbreitungskoeffizienten berücksichtigt.

Bei manchen Prozessen der Industrie, besonders der chemischen und Grundstoffindustrie, können toxische und/oder brennbare Gase in die Atmosphäre gelangen. In unmittelbarer Nähe der Ausströmstellen bilden sich zündfähige bzw. für den Menschen und seine Umgebung schädliche Gasgemische. Zur Vermeidung von Unfällen und volkswirtschaftlichen Schäden sind diese Gefahrenbereiche abzugrenzen. Dies kann nur mit Hilfe von Berechnungsverfahren erfolgen, die die Ausbreitungsvorgänge unter Berücksichtigung der auftretenden Dichteunterschiede beschreiben.

Einen wesentlichen Einfluß auf den Verlauf der Vermischung der austretenden Gase mit dem Umgebungsmedium üben die Ausströmbedingungen aus. Erfolgt das Ausströmen der Gase bei überkritischem Druckverhältnis, sind je nach Form der Düse Austrittsgeschwindigkeiten gleich oder größer als die Schallgeschwindigkeit möglich. Der Druck in der Austrittsebene kann dabei größer als der Umgebungsdruck sein. In diesen Fällen erfolgt im düsenahen Bereich eine Nachexpansion. Anschließend an diese Nachexpansionszone bildet sich ein normaler Unterschallfreistrahler aus.

Der austretende Gasstrahl kann weiterhin auf Hindernisse (Bauteile, Rohrleitungen, Gebäude usw.) auftreffen, durch

¹⁾ Dipl.-Ing. Schlanzke, G., wissenschaftlicher Assistent, Sektion Energieumwandlung der TU Dresden

deren Einfluß ein stärkeres Auffächern bzw. ein Ablenken des Strahles möglich ist.

Diese Einflüsse erschweren die Berechnung der Vermischung wesentlich. In der vorliegenden Abhandlung sollen nur ungestörte Unterschallfreistrahler ohne Nachexpansion, jedoch mit Berücksichtigung von Dichteunterschieden betrachtet werden.

Allgemeine Grundlagen

Dichteunterschiede in Freistrahlen können bei Temperaturdifferenzen zwischen austretendem und umgebendem Gas auftreten, wenn beide Medien unterschiedliche Gase sind und in Kombination beider vorgenannter Ursachen. Im allgemeinen Fall ändern sich somit im Freistrahler die Geschwindigkeit, die Temperatur und die Konzentration. Bei der weiteren Behandlung sollen hier ihre zeitlichen Mittelwerte, nicht die momentanen turbulenten Schwankungen, betrachtet werden.

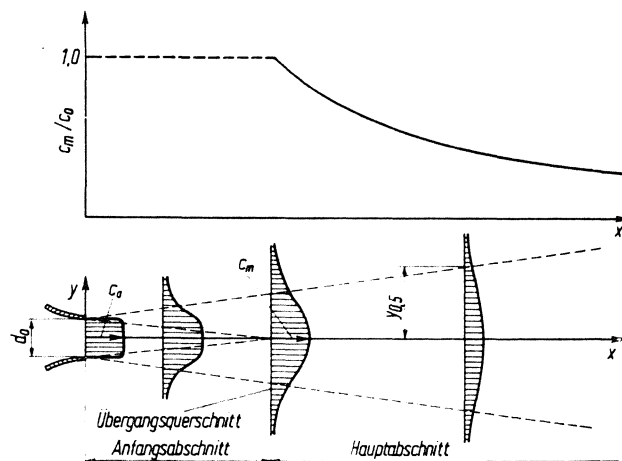


Bild 1. Schematische Darstellung eines Freistrahles