

Luftdurchlässigkeit von Fenstern

Von W. SCHÜLE

Aus dem Institut für Technische Physik der Fraunhofer-Gesellschaft, Stuttgart

Der Wärmebedarf und damit der Heizwärmeverbrauch eines beheizten Raumes wird wesentlich von der Wärmedurchlässigkeit der Fenster beeinflusst. Beim Fenster wird die Wärmeenergie durch Leitung, Konvektion und Strahlung zwischen den Fensteroberflächen (Glasscheiben, Rahmen usw.) und bei Windanfall und luftdurchlässigen Fugen mit der Luft ausgetauscht. Die nachstehenden Ausführungen befassen sich mit der Luftdurchlässigkeit von Fenstern, die in Vergleichsbauten des Bundesministeriums für Wohnungsbau in Ulm verwendet wurden. Hierbei ergab sich die Möglichkeit, Messungen über die Luftdurchlässigkeit an einer größeren Anzahl von Holz- und Metallfenstern durchzuführen und so Aufschluß über die durchschnittliche Undichtheit von Fensterserien zu gewinnen¹⁾. Die bisher bekannt gewordenen Werte über die Luftdurchlässigkeit von Fenstern stützen sich im wesentlichen auf Messungen an wenigen Fensterexemplaren, sind daher stets mit gewissen Zufälligkeiten behaftet. Aus diesem Grunde erschien es notwendig, solche Messungen an jeweils größeren Stückzahlen von Fenstern gleicher Hersteller durchzuführen, um Aufschluß über die auftretenden Streuungen der Luftdurchlässigkeit zu erhalten.

I. Luft- und Wärmedurchgang bei Fenstern

Die Frage des Luftdurchganges durch Fugen und Spalten, wie sie beim Fenster vorliegen, ist mehrfach behandelt worden [1], [2], [3], [4]. Hiernach läßt sich die stündliche Luftmenge L (m³/h), die durch die Fugen eines Fensters

¹⁾ Die Untersuchungen erfolgten im Auftrage des Bundesministeriums für Wohnungsbau, Bad Godesberg, mit Unterstützung durch die Forschungsgemeinschaft Bauen u. Wohnen, Stuttgart.

ausgetauscht wird, wenn ein Druckunterschied von Δp (kg/m²; mm WS) zwischen Außen- und Innenseite des Fensters besteht, nach folgender Gleichung errechnen:

$$L = l \cdot a \cdot \Delta p^{2/3} \quad (\text{m}^3/\text{h}) \quad (1)$$

In dieser Gleichung bedeutet l (m) die Länge der Fugen des Fensters und a einen Zahlenwert in dem die Fensterbauart und die Güte der Ausführung zum Ausdruck kommt. Dieser Wert a kann als Maß für die Luftdurchlässigkeit eines Fensters benützt werden. Er gibt die Luftmenge an, die je 1 m Fugenlänge bei einem Druckunterschied von 1 kg/m² (mm WS) ausgetauscht wird. a wird daher zweckmäßig als Fugendurchlässigkeit bezeichnet.

Der Wärmedurchgang Q_L infolge Luftdurchlässigkeit durch ein Fenster mit der Fugendurchlässigkeit a ergibt sich zu:

$$Q_L = 0,31 \cdot l \cdot a \cdot \Delta p^{2/3} (t_i - t_a) \quad (\text{kcal/h}) \quad (2)$$

Hierbei sind t_i und t_a die Lufttemperaturen zu beiden Seiten des Fensters.

Zu dem Wert Q_L kommt noch der Transmissionsverlust Q_T durch das Fenster hinzu:

$$Q_T = k \cdot F (t_i - t_a) \quad (\text{kcal/h}) \quad (3)$$

Hierin bedeutet k die Wärmedurchgangszahl in kcal/m² h grd und F die Fensterfläche in m².

Betrachtet man den gesamten Wärmedurchgang $Q_{\text{ges}} = Q_L + Q_T$ durch das Fenster, so kann man diesen mit Hilfe eines Wertes k_{ges} berechnen, der den Luft- und damit Wärmedurchgang durch die Fugen des Fensters berücksichtigt

$$Q_{\text{ges}} = k_{\text{ges}} \cdot F \cdot (t_i - t_a) \quad (\text{kcal/h}) \quad (4)$$

mehrfach geöffnet und wieder geschlossen. Da die hierbei gewonnenen Ergebnisse in der Regel etwas voneinander abwichen, wurde für die weitere Auswertung der Mittelwert dieser Ergebnisse verwendet. Auf Grund der Fugenlänge des betreffenden Fensters wurde dann die Fugendurchlässigkeit a errechnet.

Bei den im Haus eingebauten Fenstern, die vor Beziehen der Wohnungen untersucht wurden, wurde raumseitig vor das Fenster ein Kasten dicht an die Wand angesetzt (s. BILD 3). An dieser Anordnung wurden die Messungen wie oben beschrieben durchgeführt. Um bei den eingebauten Fenstern auch Aufschluß über die Luftdurchlässigkeit zwischen Fenster und Wand zu erhalten, wurden nach der ersten Messung die Fensterflügel durch Klebestreifen sorgfältig abgedichtet und die Messung wiederholt. Die Differenz der so ermittelten Luftmengen entspricht dann dem Luftdurchgang durch Undichtheiten zwischen Fenster und Wand.

Ergebnisse. Die Ergebnisse der Messungen über die Luftdurchlässigkeit der Fenster sind im folgenden in Form von Häufigkeitskurven dargestellt, da diese Art der Darstellung einen besonders guten Überblick über die Eigenschaften einer Gruppe von Meßobjekten gibt.

Holzfenster. Insgesamt wurden 159 Holzfenster im nicht eingebauten Zustande untersucht. Diese Fenster wurden kurz nach Fertigstellung und Grundierung, teils beim Hersteller, teils nach Anlieferung auf der Baustelle durchgemessen. Die Fenster verteilten sich wie folgt auf die vier Hersteller: H_1 : 72 Fenster; H_2 : 20 Fenster; H_3 : 24 Fenster; H_4 : 43 Fenster.

Von jeder der vier Fenstergruppen wurden zehn Fenster im eingebauten Zustand untersucht. Diese Fenster waren bei der Untersuchung im Haus zweimal gestrichen.

Nicht eingebaute Fenster. Die Häufigkeitskurven (Häufigkeit des Auftretens eines bestimmten Bereiches der Fugendurchlässigkeit a ; Bereichsbreite $0,2 \text{ Nm}^3/\text{h}$) für die untersuchten Holzfenster sind, nach Herstellern getrennt, in BILD 4 wiedergegeben. In BILD 5 ist die entsprechende Häufigkeitskurve für alle Holzfenster eingezeichnet. Außerdem ist dort auch die Summenhäufigkeit der Fugendurchlässigkeit aller Holzfenster angegeben (prozentualer Anteil der Fenster, deren Fugendurchlässigkeit a einen bestimmten Wert nicht überschreitet).

Aus den Diagrammen von BILD 4 ist zu erkennen, daß bei den Herstellern H_1 und H_2 scharf ausgeprägte Maxima bei einem bestimmten a -Wert (etwa $1,2 \text{ Nm}^3/\text{h}$) vorliegen. Das bedeutet, daß die Mehrzahl der Fenster hinsichtlich ihrer Fugendichtheit in einem verhältnismäßig engen Bereich liegen (besonders ausgeprägt ist dies bei den Fenstern des Herstellers H_1). Die Fugendurchlässigkeit der Fenster der Hersteller H_3 und H_4 verteilt sich ziemlich gleichmäßig über den Bereich 1 bis 2 bzw. 1 bis $2,5 \text{ Nm}^3/\text{h}$. Der Grund für diese Unterschiede dürfte durch die bei den verschiedenen Herstellern etwas verschiedenen Fertigungsmethoden bedingt sein. Bei einer mehr industriellen Fertigung sind geringere Streuungen in der Dichtheit der Fenster zu erwarten als bei einer weitgehend handwerklichen Herstellung. Aus BILD 5 geht hervor, daß der häufigste a -Wert aller untersuchten Holzfenster bei etwa $1,2 \text{ Nm}^3/\text{h}$ lag. Bei rund 50 vH aller Fenster lag die Fugendurchlässigkeit unter $1,5 \text{ Nm}^3/\text{h}$, bei 90 vH unter $2,25 \text{ Nm}^3/\text{h}$.

Eingebaute Fenster. Bei den eingebauten Fenstern kommt zur Fugendurchlässigkeit des Fensters selbst unter Umständen noch der Luftdurchgang von Ritzen und Spalten zwischen Fenster und Wand hinzu. Wie in Abschnitt 2.2 geschildert wurde, wurde der Luftdurchgang durch diese Undichtheiten bei den Messungen gesondert ermittelt. In der Mehrzahl der Fälle strömten bei einer Druckdifferenz von 1 kg/m^2 (1 mm WS) durch solche Undichtheiten etwa

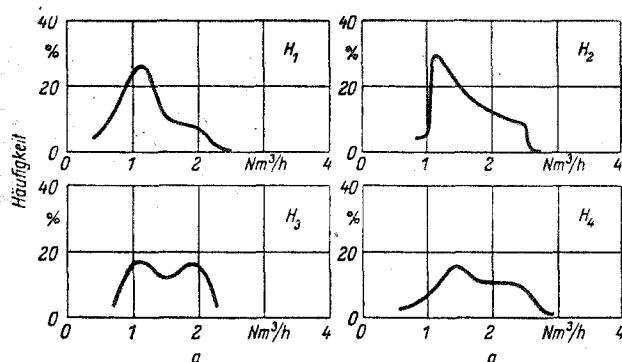


BILD 4. Häufigkeit des Auftretens eines bestimmten Bereiches der Fugendurchlässigkeit a bei grundierten Holzfenstern von vier Herstellern H_1 bis H_4 .

3 bis $4 \text{ Nm}^3/\text{h}$. Schlägt man diesen Luftdurchgang zu dem hinzu, der durch die Fugen des Fensters selbst erfolgt, und bezieht den gesamten Luftdurchgang auf die Fugenlänge l des Fensters, so erhält man einen Wert a' der Fugendurchlässigkeit des eingebauten Fensters, der entsprechend größer ist als der des Fensters allein. Dieses Vorgehen ist zwar nicht ganz exakt, erscheint aber für praktische Betrachtungen ausreichend genau, da die Länge der Fugen zwischen Fenster und Wand, der des Fensters allein in erster Näherung proportional ist.

Die so ermittelte Fugendurchlässigkeit a' der eingebauten untersuchten Holzfenster ist in BILD 6, analog zu BILD 5,

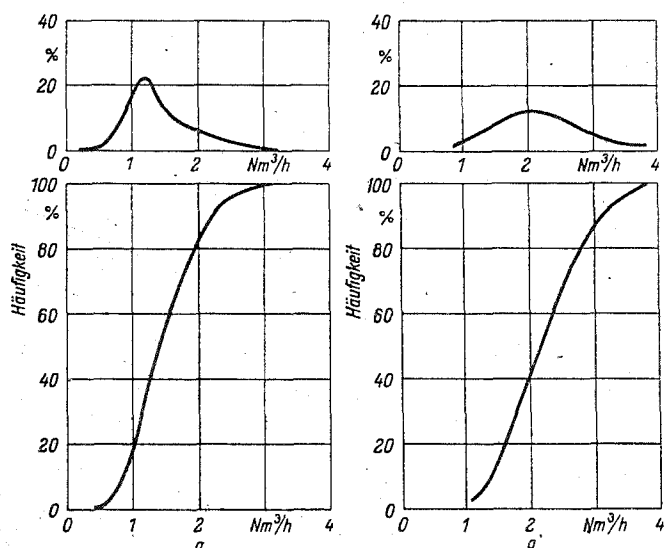


BILD 5

BILD 6

BILD 5. Häufigkeit des Auftretens eines bestimmten Bereiches der Fugendurchlässigkeit a (oben) und prozentualer Anteil der Fenster, deren Fugendurchlässigkeit einen bestimmten Wert nicht überschreitet (unten), von insgesamt 159 grundierten Holzfenstern vier verschiedener Hersteller.

BILD 6. Häufigkeit des Auftretens eines bestimmten Bereiches der gesamten Fugendurchlässigkeit a' (oben) und prozentualer Anteil der eingebauten Fenster, deren gesamte Fugendurchlässigkeit a' einen bestimmten Wert nicht überschreitet (unten) von eingebauten Holzfenstern.

Gesamte Fugendurchlässigkeit a' = Luftdurchgang bei 1 mm WS durch die Fugen der Fenster einschließlich der Fugen zwischen Fenster und Wand, bezogen auf die Fugenlänge der Fenster allein.

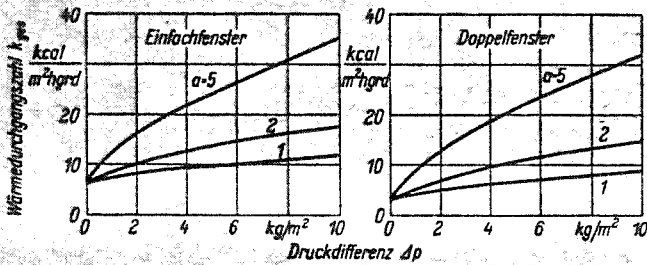


BILD 1. Wärmedurchgang k_{ges} bei Einfach- und Doppelfenstern bei Berücksichtigung des Luftdurchgangs ($a = 1, 2$ und 5) abhängig von der Druckdifferenz Δp zu beiden Seiten des Fensters.

Dieser Wert k_{ges} unterscheidet sich um so mehr von der Wärmedurchgangszahl k des dichten Fensters, je größer die Fugendurchlässigkeit a und die Druckdifferenz Δp zu beiden Seiten des Fensters ist. Die Zusammenhänge zwischen k_{ges} und Δp sind für verschiedene Werte von k (Einfachfenster $k = 6 \text{ kcal/m}^2 \text{ h grad}$, Doppelfenster $k = 3 \text{ kcal/m}^2 \text{ h grad}$) und a in BILD 1 dargestellt. Hier ist die Fugenlänge des Fensters zu 4 m je m^2 Fensterfläche angenommen [5]. Man ersieht aus diesen Diagrammen, daß bei undichten Fenstern bei Windanfall die Wärmeverluste in erster Linie durch den Luftdurchgang bedingt sind. Die Fensterart (Einfach- oder Doppelfenster) tritt unter diesen Umständen in ihrer Auswirkung auf den Wärmeverlust zurück. Um also die im Vergleich zu Einfachfenstern wärmeschutztechnisch günstigen Doppelfenster auch wärmewirtschaftlich voll zur Wirkung kommen zu lassen, ist eine genügende Dichtheit dieser Fenster unbedingte Voraussetzung.

II. Durchgeführte Messungen

Die Bestimmung der Luftdurchlässigkeit an Einzelfenstern führt in der Regel nicht zu kennzeichnenden Ergebnissen, da diese Einzelfenster häufig für die Untersuchung mit besonderer Sorgfalt hergestellt werden und daher eine so geringe Luftdurchlässigkeit aufweisen, wie sie bei der Serienfertigung nur vereinzelt oder gar nicht erreicht wird. Werden die Messungen nur an einem oder wenigen Exemplaren einer größeren Fensterserie durchgeführt, so ist zwar nicht anzunehmen, daß es sich um besonders sorgfältige Einzelanfertigungen handelt, doch muß dann damit gerechnet werden, daß Ergebnisse anfallen, die nicht dem

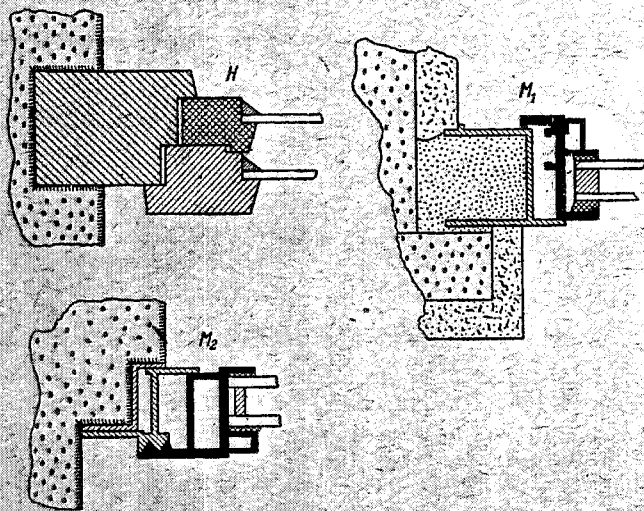


BILD 2. Rahmenprofile der untersuchten Holzfenster (H) und Metallfenster (M_1 und M_2).

Durchschnittswert oder dem häufigsten Wert aus der Serie entsprechen.

Im vorliegenden Falle ergab sich die Möglichkeit, eine größere Anzahl von Holz- und Metallfenstern, teils vor dem Einbau, teils nach Einbau in die Vergleichsbauten in Ulm, auf ihre Luftdurchlässigkeit zu untersuchen. Die Hersteller der Fenster wurden erst nach deren Fertigstellung von den geplanten Messungen unterrichtet, so daß angenommen werden kann, daß die untersuchten Fenster die durchschnittliche Qualität der Fenster des betreffenden Herstellers aufwiesen. Die Holzfenster wurden vor dem Einbau und zum Teil nach dem Einbau durchgemessen. Die Metallfenster konnten nur in eingebautem Zustande untersucht werden, da diese ohne Verglasung angeliefert und erst im Bau verglast wurden*).

Die untersuchten Fenster. Die Holzfenster, die von vier Firmen hergestellt worden waren, waren ein- und zwei-flügelige Verbundfenster (Rahmenprofil s. BILD 2 H). Die Metallfenster wurden als einflügelige Fenster mit Doppelverglasung durch zwei Firmen geliefert (Rahmenprofil s. BILD 2 M_1 und M_2).

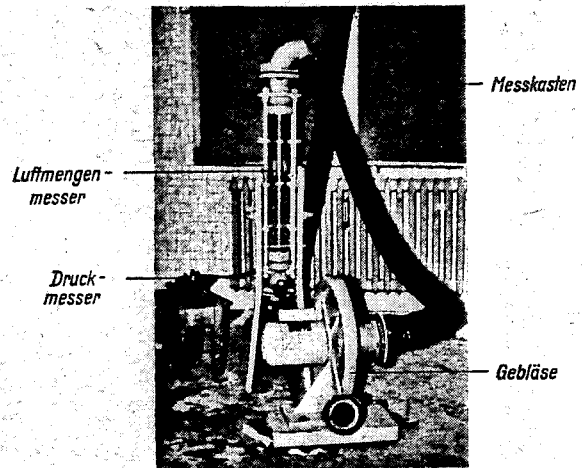


BILD 3. Bestimmung der Luftdurchlässigkeit von Fenstern im Bau (Meßanordnung).

Die Außenabmessungen der untersuchten Holzfenster waren $1405 \text{ mm} \times 1320 \text{ mm}$, $1405 \text{ mm} \times 1570 \text{ mm}$, $1405 \text{ mm} \times 1950 \text{ mm}$ und die der untersuchten Metallfenster $1350 \text{ mm} \times 1290 \text{ mm}$.

Durchführung der Messungen. Die Fenster wurden, wie erwähnt, teils vor, teils nach dem Einbau im Haus auf ihre Fugendurchlässigkeit untersucht. Die nicht im Haus eingebauten Fenster wurden in einen Kasten entsprechender Größe so eingesetzt, daß diese eine Abschlußfläche des Kastens bildeten. Etwa verbleibende Fugen zwischen Fenster-Außenrahmen und Kasten wurden sorgfältig abgedichtet. Dann wurde in den Kasten mittels eines Gebläses unter Zwischenschaltung eines Luftmengenmessers Luft eingezogen und mit diesem so die durch Undichtheiten des Fensters entweichende Luft, abhängig von Überdruck im Kasten, ermittelt. Die Fenster wurden so in den Meßkasten eingesetzt, daß bei der Messung ein Überdruck auf der Außenseite des Fensters bestand. Auf Grund der gleichzeitig bestimmten Lufttemperatur und des Luftdruckes außerhalb des Kastens wurden die gemessenen Luftmengen auf Normalzustand (0°C , 760 mm QS) umgerechnet. Die Messung erfolgte bei jedem Fenster mehrmals. Zwischen den einzelnen Messungen wurde das Fenster

* Die Messungen an den Fenstern wurden durch H. Lung durchgeführt.

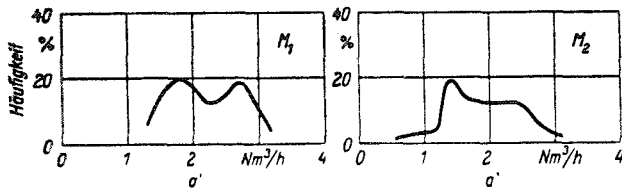


BILD 7. Häufigkeit des Auftretens eines bestimmten Bereiches der gesamten Fugendurchlässigkeit a' von eingebauten Metallfenstern zweier Hersteller M_1 und M_2 .

Gesamte Fugendurchlässigkeit $a' =$ Luftdurchgang bei 1 mm WS durch die Fugen der Fenster einschließlich der Fugen zwischen Fenster und Wand, bezogen auf die Fugenlänge der Fenster allein.

in Form der Bereichs- und der Summenhäufigkeitskurven dargestellt. Man erkennt aus diesen Diagrammen, daß bei den eingebauten Holzfenstern die Häufigkeitskurve der Fugendurchlässigkeit wesentlich flacher verläuft als bei den Fenstern allein und daß der Wert der häufigsten Fugendurchlässigkeit a' um nahezu $1 \text{ Nm}^3/\text{h}$ höher liegt als bei der von a , nämlich etwas über $2 \text{ Nm}^3/\text{h}$.

Bei 50 vH der untersuchten, eingebauten Fenster liegt die Fugendurchlässigkeit unter $2 \text{ Nm}^3/\text{h}$, bei nahezu 90 vH unter $3 \text{ Nm}^3/\text{h}$.

Die eingebauten Holzfenster waren bei der Messung mit einem zweifachen Anstrich versehen. Die Wirkung dieses Anstriches auf die Luftdurchlässigkeit ist daher in den Ergebnissen mit enthalten.

Metallfenster. Die Metallfenster konnten nur im Bau eingebaut untersucht werden. Insgesamt wurden Messungen an 58 solchen Fenstern durchgeführt (Hersteller M_1 : 26 Fenster; Hersteller M_2 : 32 Fenster).

Für die Darstellung der Ergebnisse gelten dieselben Gesichtspunkte, wie sie für eingebaute Holzfenster beschrieben wurden.

Die Metallfenster werden nicht wie die Holzfenster unmittelbar in die Außenwände der Bauten eingesetzt. Vielmehr wird in diese ein Montagerahmen eingebaut, an den die Metallfenster angeschraubt werden. Bei den Untersuchungen zeigte sich, daß die Undichtheiten zwischen Fenster und Montagerahmen bzw. diesem und der Wand in der Mehrzahl der Fälle einen Luftdurchgang von etwa $5 \text{ Nm}^3/\text{h}$ bei einer Druckdifferenz von $1 \text{ kg}/\text{m}^2$ (1 mm WS) zur Folge hatten.

Die Bereichshäufigkeiten der Fugendurchlässigkeit der eingebauten Metallfenster bzw. die Summenhäufigkeit der Durchlässigkeit, jeweils bezogen auf die Fugenlänge der Fenster allein, wird in den Diagrammen der BILDER 7 und 8 wiedergegeben. Man ersieht aus BILD 7, daß sich die Undichtheiten der eingebauten Fenster der beiden Hersteller auf einen Bereich von etwa $1,5$ bis $3 \text{ Nm}^3/\text{h}$ (M_1) bzw. $1,2$ bis $2,5 \text{ Nm}^3/\text{h}$ (M_2) erstrecken. Dasselbe gilt praktisch auch für die zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse aller untersuchten Metallfenster. In 50 vH der Fälle lag die Fugendurchlässigkeit a' bei diesen Fenstern unter $2 \text{ Nm}^3/\text{h}$, in 90 vH unter $2,8 \text{ Nm}^3/\text{h}$.

III. Zusammenfassung

Untersuchungen über die Luftdurchlässigkeit einer größeren Anzahl von Holz- und Metallfenstern verschiedener Hersteller ergaben bei den Holzfenstern deutliche Unter-

schiede in der Häufigkeitsverteilung der Fugendurchlässigkeit bei Fenstern verschiedener Hersteller. Bei den Metallfenstern zweier Hersteller konnten solche Unterschiede nicht in diesem Maße festgestellt werden.

Die im Gebäude eingebauten Fenster sind, wegen der Undichtheiten zwischen Fenster und Wand, luftdurchlässiger als die Fenster allein. Der Luftdurchgang durch die Undichtheiten zwischen Fenster und Wand betrug bei Holzfenstern etwa 3 bis $4 \text{ Nm}^3/\text{h} \cdot \text{mm WS}$, bei den Metallfenstern, die an einem in die Wand eingesetzten Montagerahmen angeschraubt sind, rund $5 \text{ Nm}^3/\text{h} \cdot \text{mm WS}$ zwischen Fenster und Montagerahmen bzw. zwischen diesem und der Wand.

Die Gesamt-Fugendurchlässigkeit der eingebauten Fenster, bezogen auf die Fugenlänge der Fenster, war im Zeitpunkt der Untersuchung bei Holz- und Metallfenstern etwa dieselbe. Bei 90 vH der eingebauten, untersuchten Holz- und Metallfenster lag die Gesamt-Fugendurchlässigkeit unter rund $3 \text{ Nm}^3/\text{h}$.

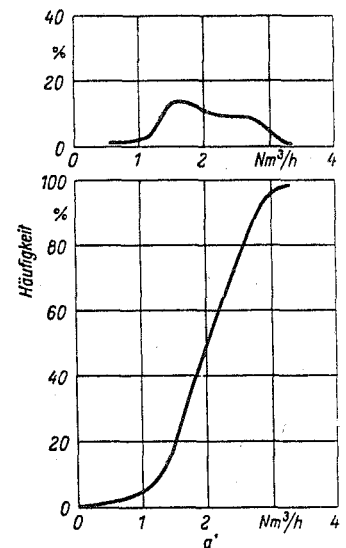


BILD 8. Häufigkeit des Auftretens eines bestimmten Bereiches der gesamten Fugendurchlässigkeit a' (oben) und prozentualer Anteil der eingebauten Fenster, deren gesamte Fugendurchlässigkeit a' einen bestimmten Wert nicht überschreitet (unten), von eingebauten Metallfenstern.

Gesamte Fugendurchlässigkeit $a' =$ Luftdurchgang bei 1 mm WS durch die Fugen der Fenster einschließlich der Fugen zwischen Fenster und Wand, bezogen auf die Fugenlänge der Fenster allein.

Literatur

- [1] Reiher, H., Fraaß, K., und Settele, E.: Über die Frage der Luft- und Wärmedurchlässigkeit von Fenstern. Wärmewirtschaftl. Nachrichten 6 (1932), S. 42 und S. 55.
- [2] Settele, E.: Über die Frage der Luft- und Wärmedurchlässigkeit von Fenstern. Ebenda 7 (1933), S. 111.
- [3] Cammerer, J. S.: Der Einfluß der Fensterbauart auf den Luftdurchgang. Ges.-Ing. 61 (1938), S. 393.
- [4] Dürr, H.: Luft- und Wärmedurchlässigkeit neuzeitlicher Stahlfensterbauweisen. Ges.-Ing. 64 (1941), S. 135.
- [5] DIN 4701: Regeln für die Berechnung des Wärmebedarfs von Gebäuden. Ausgabe Januar 1959.