

"Measurement and calculation of the ventilation through a vertical sash-window without wind"

Proceedings CIB 517 meeting "Heating and climatization"
Holzkirchen (W-Germany), September 1977.

Messungen und Berechnungen über Stoßlüftung durch VERTIKAL-SCHIEBEFENSTER bei Windstille

Einleitung

Räume, die zum dauernden Aufenthalt von Menschen bestimmt sind, müssen permanent mit frischer Außenluft versorgt werden. Dadurch wird der lebensnotwendige Sauerstoff zugeführt und sichergestellt, daß sich keine unzumutbare Menge von Bakterien in der Raumluft bildet und Geruchsbelästigungen vermieden werden.

Eine Lüfterneuerung kann grundsätzlich nur dann erfolgen, wenn Luftströmungen vorhanden sind, die durch Druckunterschiede entstehen. Im Gegensatz zu dem durch Ventilatoren oder Wind erzeugten Druckunterschied versteht man unter freier Lüftung den Luftwechsel, der die natürlichen Eigenschaften der Luft bei Temperaturunterschieden ausnutzt.

In diesem Bericht werden verschiedene Meßergebnisse erläutert, die bei natürlicher Lüftung mit einem Vertikal-Schiebefenster bei Windstille erreicht wurden. Außerdem werden einige Formeln genannt, mit deren Hilfe eine Fensterlüftung annähernd berechnet werden kann.

Thermische Lüftung

Eine Luftbewegung in einem Raum kommt zustande, wenn Temperaturunterschiede zwischen Innen- und Außenluft bestehen. Aufgrund der unterschiedlichen Temperaturen von Fensterscheiben und Raumluft ergeben sich unterschiedliche spezifische Gewichte der Luft und dadurch Druckdifferenzen in senkrechter Richtung. Wenn - wie beim Vertikal-Schiebefenster - der Luftaustausch zwischen Innen- und Außenluft durch eine untere und eine obere Öffnung stattfinden kann, dann entsteht bei warmer Raumluft im unteren Bereich eine Luftströmung nach innen und im oberen Bereich nach außen. Bei kalter Luft im Innenraum entsteht eine Luftströmung in umgekehrter Richtung. (Figur 1)

Figur 1

Der Luftaustausch wird intensiver mit zunehmender Größe

der Öffnungen -

der Abstände der Öffnungen untereinander -

der Temperaturdifferenz zwischen Innen- und Außenluft. (s. Figur 2)

Figur 2

Die ausgetauschte Luftmenge ergibt sich ungefähr aus nachstehender Formel 1:

$$Q \approx 470 \cdot A \sqrt{H (t_i - t_a)} \quad (1)$$

Hierin ist:

Q = die stündlich ausgetauschte Luftmenge in m^3/h

A = die Größe der Ausgleichsöffnungen in m^2

H = der Höhenunterschied zwischen den Ausgleichsöffnungen in m

$t_i - t_a$ = der Temperaturunterschied zwischen innen und außen in $^{\circ}\text{C}$.

Die mittlere Luftgeschwindigkeit v in m/s in den Ausgleichsöffnungen ergibt sich aus der Formel 2:

$$v \approx 0,13 \sqrt{H (t_i - t_a)} \quad (2)$$

Die durch die Lüftung (im Winter) nach außen abgeführte Wärmemenge wird berechnet mit der Formel 3:

$$q = 170 \cdot A \cdot \sqrt{H} \cdot (t_i' - t_a)^{3/2} \quad (3)$$

Hierin ist:

q = der Wärmeabfuhr infolge der thermischen Lüftung in W.

Die Bedeutung der anderen Buchstaben ist wie auf Seite 2 angegeben.

Labormessungen

In einem elektrisch aufgeheizten Versuchsraum wurde im stationären Zustand der Temperaturunterschied der ein- und ausströmenden Luft sowie deren Geschwindigkeit am Ein- und Austritt gemessen. Die Meßergebnisse stimmen sehr gut mit den vorgenannten Formeln überein.

Messungen in der Praxis

In dem Gymnasium in Seesen wurden im Oktober 1972 Messungen in einem dreiaxigen Raum durchgeführt, der bei 5,03 m Breite, 8,40 m Tiefe und 3,00 m Höhe ein Volumen von 127 m³ hat. Der Raum lag an einer Gebäude-Innenecke; zwei Achsen waren zu öffnen; die an der Ecke angrenzende Achse war fest verglast. Im Fensterbereich war keine Sonneneinstrahlung. Durch den Einfluß der Ecklage wurden an diesem Tage nur geringe Windgeschwindigkeiten gemessen, vorwiegend in Richtung der Fassadenlängsströmung.

Figur 3

In Figur 3 ist ein Gebäude-Teilschnitt dargestellt.

Die Heizkörper waren in Betrieb; die Lüftungsanlage war abgestellt.

Gemessen wurde bei einer Außentemperatur $t_a = 6^\circ\text{C}$,

Innentemperatur in Deckennähe $t_i' = 21^\circ\text{C}$,

Innentemperatur in Bodennähe $t_i = 20^\circ\text{C}$.

Versuch 1

a) Luftgeschwindigkeit

Bei geöffnetem Fenster wurde die Luftgeschwindigkeit in den Öffnungen gemessen. Die untere und obere Öffnung, die bei einem Vertikal-Schiebefenster naturgemäß gleich groß sind, hatten eine Größe von $A = 0,15 \times 3,36 = 0,50 \text{ m}^2$. Der Höhenunterschied zwischen den beiden Öffnungen betrug $H = 1,95 \text{ m}$.

Als Mittelwert der Luftgeschwindigkeit über den gesamten Querschnitt wurden 0,5 bis 0,8 m/s gemessen.

Mit der Formel 2 ergibt sich eine mittlere Luftgeschwindigkeit von

$$v \approx 0,13 \sqrt{1,95 \times (20,5 - 6)} = 0,7 \text{ m/s.}$$

Dieser errechnete Wert stimmt mit dem Meßergebnis überein.

b) Luftwechsel

Die Anwendung von Formel 1 ergibt:

$$Q \approx 470 \times 0,50 \times \sqrt{1,95 \times (20,5 - 6)} = 1250 \text{ m}^3/\text{h}$$

Der Strömungsverlauf wurde mit Rauch sichtbar gemacht. Es zeigte sich, daß die Luft nach ihrem Eintritt in den Raum sehr rasch auf den Boden fällt, am Boden entlangwandert, an der gegenüberliegenden Wand aufsteigt und gleichmäßig unterhalb der Decke wieder nach außen zieht. Der relativ tiefe Raum (8,40 m) wurde also in seiner ganzen Länge durchströmt und gleichmäßig durchspült. Das bedeutet, daß der erreichte Luftwechsel in diesem Fall $\frac{1250}{127} \approx 10 \text{ x}$ in der Stunde beträgt.

Unter der Voraussetzung, daß kein Austausch zwischen der Raumluft und der einströmenden Frischluft stattfindet, kann man sagen, daß der Raum in $\frac{60}{10} = 6$ Minuten mit Frischluft gefüllt ist. Selbstverständlich ist ein Luftaustausch vorhanden, und es ist zu erwarten, daß eine vollkommene Lüfterneuerung erst nach längerer Zeit vollzogen ist. In bezug darauf wurde noch ein weiterer Versuch ausgeführt.

Versuch 2

Das Fenster wurde 15 cm weit geöffnet und eine angezündete Rauchkerze in dem unteren offenen Fensterspalt abgestellt. Nach ungefähr 2 Minuten war der ganze Raum mit soviel Rauch angefüllt, daß die Sichtweite weniger als 5 m betrug. Nach Entfernung der Rauchkerze war der ganze Raum nach ungefähr 20 bis 25 Minuten wieder klar.

Wie schon erwähnt, ist logischerweise zu erwarten, daß infolge des auftretenden Luftaustausches eine vollkommene Lüfterneuerung mehr Zeit benötigt als die oben errechneten 6 Minuten.

Die visuelle Beobachtung ergab, daß der Abzug des Rauches gleichmäßig über die Raumtiefe erfolgt und keine schlechter durchlüfteten Randzonen verbleiben.

Schlußfolgerung

Es hat sich gezeigt, daß mit einem Vertikal-Schiebefenster eine sehr gute Lüftung zu erreichen ist (Stoßlüftung), selbst wenn die klimatologischen Umstände so sind, daß keine Windbeeinflussung vorliegt. Die theoretisch abgeleiteten Formeln, die durch Labormessungen bestätigt wurden, sind auch in der Praxis bei großen Raumtiefen ohne weiteres anwendbar.

Zu bemerken ist noch, daß die abgeführte Wärmemenge, die sich durch Anwendung der Formel 3 ergibt, in dem beschriebenen Versuch

$$q \simeq 170 \times 0,50 \times \sqrt{1,95} \times (20,5 - 6)^{3/2} = 6600 \text{ W}$$

beträgt.

Öffnet man das Fenster nur eine halbe Stunde, um einen vollkommenen Luftaustausch zu erreichen, werden 12×10^6 Joule Wärme abgeführt. Für einen Raum, dessen Fußboden, Wände und Decke aus wärmespeicherndem Material sind, bedeutet das nur eine geringe Temperatursenkung der Innenluft, die meistens nicht als störend empfunden wird.

*Prof. Ir. A. C. Verhoeven
Annaplaats 8
2713 AL ZOETERMEER
the Netherlands*