

Näherungsformeln für den Luftaustausch über Fenster



- Vereinfachte Näherungsformeln für ganz geöffnete und bis zu 15° angekippte Fenster -

L. Rouvel

Vorbemerkung

Der Luftaustausch über Fenster im Raum durch thermischen Auftrieb (kein Windeinfluss) soll durch eine Näherungsformel beschrieben werden.

Ausgangswerte sind die Ergebnisse der CFD-Strömungssimulationen von Zimmermann[1]¹. Weiterhin werden die Ergebnisse der CFD-Simulationen von Richter [2]² werden zum Vergleich herangezogen.

Diese Ergebnisse aus den Strömungssimulationen sind von Rouvel ausgewertet und in den nachfolgenden Näherungsformeln zusammengefasst worden.

Diese Näherungsformeln sind in die VDI 2078 übernommen worden.

Diese Näherungsformeln geben den Luftaustausch in Abhängigkeit von der Temperaturdifferenz zwischen Raumluft (eigentlich Abluft aus dem Fenster) und Außenluft an, da diese beiden Parameter Grundlage für die Ermittlung der verfügbaren Luftmenge über das Fenster zum Beispiel bei der Nachtauskühlung im Sommer sind.

¹ [1] F. Zimmermann

Bestimmung des Luftwechsels bei Fensterlüftung mittels CFD-Simulation
Unveröffentlichte Untersuchung von 2010

² [2] W. Richter, J. Seifert, R. Gritzki, M. Rösler

Die Bestimmung des realen Luftwechsels bei Fensterlüftung aus energetischer und bauphysikalischer Sicht
Forschungsbericht des Bundesamtes für Bauwesen und Raumordnung
(Aktenzeichen; Z6 – 5.4-01 / II13 – 80 01 01 14)

1. Grundsätzliche Vorgehensweise

Üblicherweise sind bei der Fensterlüftung zur Raumauskühlung z.B. nachts im Sommer zwei Fälle bezüglich der Fensterstellung zu betrachten:

- ganz geöffnetes Fenster
- gekipptes Fenster mit Kippwinkel von maximal 15°

Dabei ist weiterhin zu unterscheiden zwischen:

- einzelnes Fenster mit Ein- und Ausströmung im selben Fenster
- übereinander angeordnete Fenster mit Einströmung im unteren Fenster und Abströmung im oberen Fenster

Grundsätzlich lässt sich die Luftmenge \dot{V} für alle diese vier Fälle in Anlehnung an die Näherungsformel nach Hansen [3]³ - für die Durchströmung eines Raumes aufgrund des Temperaturunterschiedes außen-innen über freie Konvektion über zwei Öffnungen – nach Gl. (1) ermitteln:

$$\dot{V} = 3600 \cdot A_{\text{wirk}} \cdot \sqrt{\frac{g \cdot H_{\text{wirk}} \cdot \Delta \vartheta}{2 \cdot T_1}} \quad \text{in m}^3/\text{h} \quad (1)$$

mit:

A_{wirk} wirksame Öffnungsfläche für die Durchströmung, hergeleitet aus den geometrischen Verhältnissen des Fensters unter Berücksichtigung des Öffnungswinkels sowie der Fensterlaibung

H_{wirk} wirksame Höhe für den thermischen Auftrieb, hergeleitet aus den geometrischen Verhältnissen des Fensters

g Erdbeschleunigung: $g = 9,81 \text{ m/s}^2$

$\Delta \vartheta$ Temperaturdifferenz zwischen der in den Raum einströmenden und der aus dem Raum ausströmenden Luft. I.d.R. ist die Temperatur der einströmenden Luft die Außentemperatur und die Temperatur der ausströmenden Luft die Raumlufttemperatur.

Der „normierte“ Luftwechsel wird auf $\Delta \vartheta = 10 \text{ K}$ bezogen

T_1 absolute Temperatur der in den Raum einströmenden Luft

Standardmäßig wird für VDI 2078 angesetzt: $T_1 = 273,15 \text{ K} + 15 \text{ K}$

Die Umrechnung der auf 10 K „normierten“ Luftmenge $\dot{V}_{10\text{K}}$ auf die Luftmenge $\dot{V}_{\Delta \vartheta}$ bei beliebiger Temperaturdifferenz erfolgt nach Gl. (2).

$$\dot{V}_{\Delta \vartheta} = \dot{V}_{10\text{K}} \cdot \sqrt{\frac{\Delta \vartheta}{10\text{K}}} \quad \text{in m}^3/\text{h} \quad (2)$$

Die wirksame Fläche A_{wirk} und die wirksame Höhe H_{wirk} ermitteln sich für die vier vorgenannten Fälle entsprechend Kap. 2.1 bis 2.4 unter Berücksichtigung der Vermaßungen in Abb. 1.

³[3] Recknagel, Sprenger, Schramek
Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik 2007/2008
Oldenbourg-Verlag München, 73. Auflage 2006

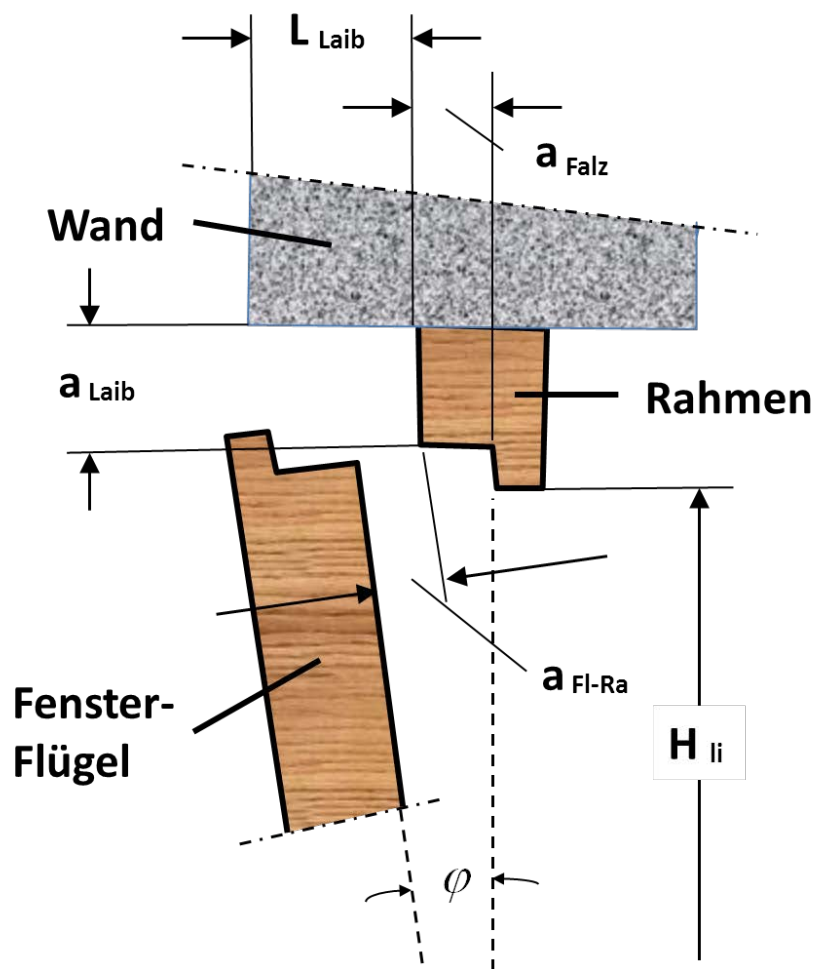


Abb. 1: Skizze für die Maße bei Rahmen und Fensterflügel beim gekippten Fenster

In Abb. 1 bedeuten:

B_{li}	Breite der lichten Öffnung im Fensterrahmen
H_{li}	Höhe der lichten Öffnung im Fensterrahmen
a_{Laib}	Abstand zwischen Fensterlaibung und Fensterrahmen
L_{Laib}	Tiefe der Laibung des Fensters
a_{Falz}	Tiefe des Falzes (Überlappung von Rahmen und Fensterflügel)
a_{Fl-Ra}	Abstand zwischen Fensterflügel und Fensterrahmen
φ	Öffnungswinkel (Kippwinkel) des Fensterflügels $\varphi = 0^\circ$ Fenster geschlossen

2. Näherungsformeln für die wirksame Fläche A_{wirk} und die wirksame Höhe H_{wirk}

2.1 Ganz geöffnetes Fenster, einzelnes Fenster mit Ein- und Ausströmung im selben Fenster:

$$A_{\text{wirk}} = (B_{\text{li}} \cdot H_{\text{li}}) / 3 \quad (3)$$

$$H_{\text{wirk}} = H_{\text{li}} \cdot 2/3 \quad (4)$$

2.2 Ganz geöffnetes Fenster, übereinander angeordnete Fenster mit Einströmung im unteren Fenster und Abströmung im oberen Fenster:

$$A_{\text{wirk}} = B_{\text{li}} \cdot H_{\text{li}} \quad (5)$$

$$H_{\text{wirk}} = \text{Unterkante}_{\text{Fensterband;oben}} - \text{Unterkante}_{\text{Fensterband;unten}} \quad (6)$$

Wenn A_{wirk} vom unteren und oberen Fenster unterschiedlich ist, dann ist der kleinere Wert anzusetzen.

2.3 Gekipptes Fenster mit Kippwinkel von maximal 15°, einzelnes Fenster mit Ein- und Ausströmung im selben Fenster:

$$A_{\text{wirk}} = \left[(B_{\text{li}} + H_{\text{li}} - H_{\varphi}) \cdot a_{\text{Fl-Ra}} / 3 \right] \cdot \text{kor}_{\text{Laib}} \quad (7)$$

$$H_{\text{wirk}} = (H_{\text{li}} - H_{\varphi}) \cdot 2/3 \quad (8)$$

mit:

Höhe der Überlappung von Fensterrahmen und Fensterflügel H_{φ}

$$H_{\varphi} \approx \frac{a_{\text{Falz}}}{\sin \varphi} \quad (9)$$

wenn $H_{\varphi} > H_{\text{li}}$, dann:

$$H_{\varphi} = H_{\text{li}} \quad (10)$$

Abstand zwischen Fensterflügel und Fensterrahmen $a_{\text{Fl-Ra}}$:

$$a_{\text{Fl-Ra}} \approx H_{\text{li}} \cdot \sin \varphi - a_{\text{Falz}} \quad (11)$$

wenn $a_{\text{Fl-Ra}} < 0$, dann:

$$a_{\text{Fl-Ra}} = 0 \quad (12)$$

Mit Gl. (11) lässt sich auch der Neigungswinkel φ aus dem gemessenen Abstand a_{Fl-Ra} ermitteln zu:

$$\varphi \approx \arcsin\left[\frac{(a_{Fl-Ra} + a_{Falz})}{H_{li}}\right] \quad (13)$$

Korrekturfaktor kor_{Laib} für die Berücksichtigung einer Fensterlaibung:

$$\begin{aligned} \text{Wenn } a_{Fl-Ra} \leq a_{Laib}, \text{ dann gilt: } kor_{Laib} &= 1 \\ \text{Wenn } a_{Fl-Ra} > a_{Laib}, \text{ dann gilt: } kor_{Laib} &= 1 - 0,6 \cdot \left(1 - \frac{a_{Laib}}{a_{Fl-Ra}}\right) \end{aligned} \quad (14)$$

2.4 Gekipptes Fenster mit Kippwinkel von maximal 15°, übereinander angeordnete Fenster mit Einströmung im unteren Fenster und Abströmung im oberen Fenster:

$$A_{wirk} = \left[(B_{li} + H_{li} - H_{\varphi}) \cdot a_{Fl-Ra} \right] \cdot kor_{Laib} \quad (15)$$

$$H_{wirk} = \text{Unterkante}_{\text{Fensterband;oben}} - \text{Unterkante}_{\text{Fensterband;unten}} \quad (16)$$

mit:

Höhe der Überlappung von Fensterrahmen und Fensterflügel H_{φ}

Abstand zwischen Fensterflügel und Fensterrahmen a_{Fl-Ra}

Öffnungswinkel (Kippwinkel) φ und

Korrekturfaktor kor_{Laib} für die Berücksichtigung einer Fensterlaibung

entsprechend Gl. (9) bis 14)

Wenn A_{wirk} vom unteren und oberen Fenster unterschiedlich ist, dann ist der kleinere Wert anzusetzen.

2.5 mehrere Fenster in selber Höhe im Raum:

$$\dot{V} = \sum_{i=1}^n \dot{V}_i \quad (17)$$

3. Vergleich der vereinfachten Näherungsgleichung mit den Ergebnissen der CFD-Simulation von Zimmermann [1] und von Richter [2]

Die Ergebnisse der vereinfachten Näherungsgleichungen nach Kap. 2 von Rouvel zur Ermittlung des Fensterluftwechsels stimmen für die Fälle „ganz geöffnetes Fenster“ und „gekipptes Fenster bis zu einem Kippwinkel von 15°“ sehr gut mit den Ergebnissen der CFD-Simulationen von Zimmermann und ebenso von Richter [1] überein (siehe Abb. 2).

Somit kann für die meisten Fälle in der Praxis dieses vereinfachte Näherungsverfahren verwendet werden.

Bei deutlichen Abweichungen von den vorausgesetzten Randbedingungen ist eine entsprechende CFD-Simulation durchzuführen.

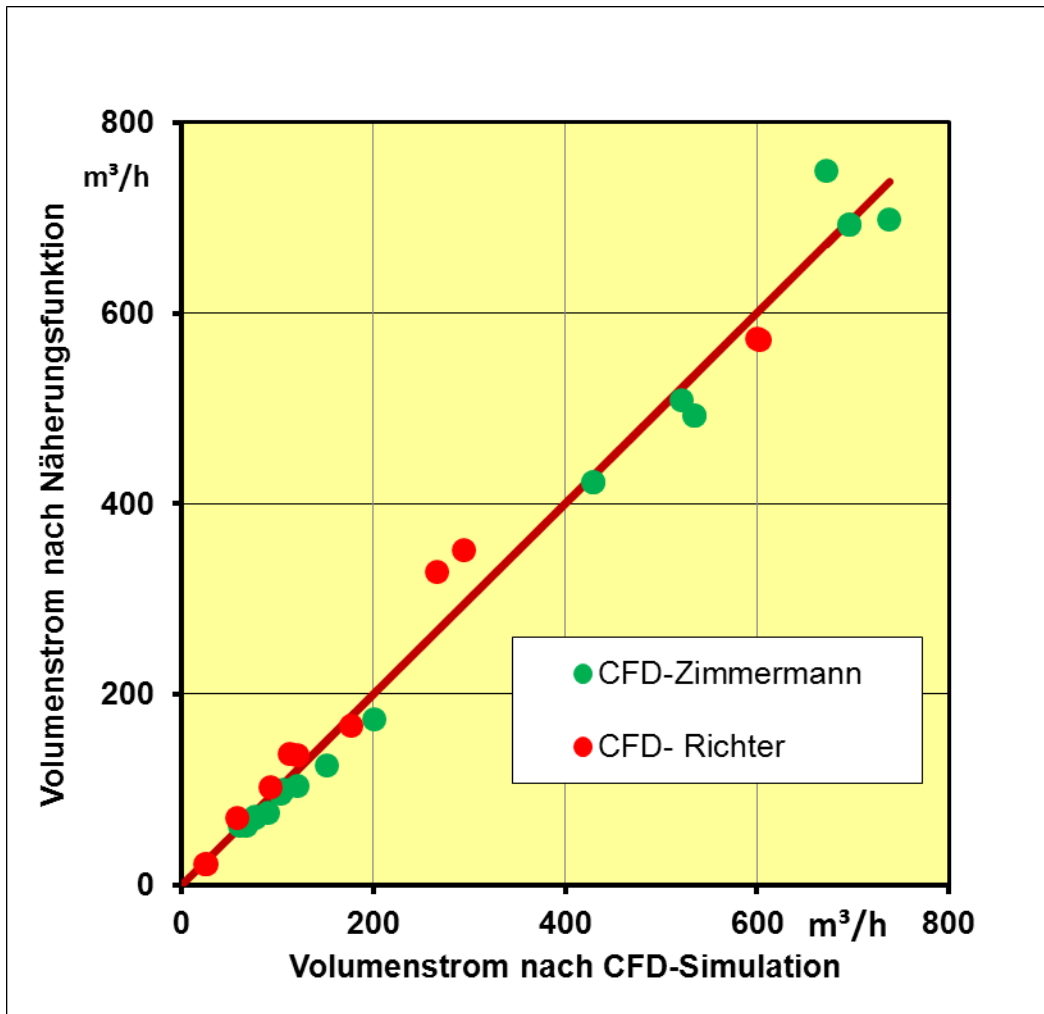


Abb. 2: Vergleich der Ergebnisse aus der vereinfachten Näherungsfunktion für die Bestimmung der Luftvolumenströme bei gekippten und voll geöffneten Fenstern mit den Ergebnissen der CFD-Simulation von Zimmermann [1] und von Richter [2]

Die vorstehenden Näherungsformeln für die Fensterlüftung
sind in die

VDI-Richtlinie VDI 2078

Berechnung der thermischen Lasten und Raumtemperaturen
(Auslegung Kühllast und Jahressimulation)

aufgenommen worden.