

13 Luftführung im Raum

In Hinblick auf die Wärmephysiologie des Menschen und die hygienischen Eigenschaften der Luft in der Aufenthaltszone besitzt die Luftführung im Raum großen Einfluss. Signifikant sind dabei, die aerodynamischen Eigenschaften der Zuluftstrahlen (w, Tu), die Temperaturdifferenz zwischen Zuluft und Raumluft, die Art und Anordnung der Zuluftöffnung, die Anordnung der Abluftöffnung, die Form, Lage, Größe von Einbauten und Inventar, die Oberflächentemperatur der Raumumfassungskonstruktion (Wärmequellen im Raum) sowie die Raumabmessung. Nachfolgend sollen die wichtigsten Luftführungsformen im Raum detailliert erläutert werden.

13.1 Formen der Raumluftströmung

Eine der wichtigsten Strömungsformen der Raumluft stellt die *Verdrängungsströmung*⁸⁵⁾ dar. Kennzeichnend für diese Strömungsform ist, dass die belastete Raumluft „kolbenförmig“ ausgedrückt wird. Die Luftströmung besitzt parallel verlaufenden Stromlinien (Laminarflow) mit minimalen Turbulenzerscheinungen. Abb. 13-1 zeigt eine Verdrängungsströmung in idealisierter Weise.

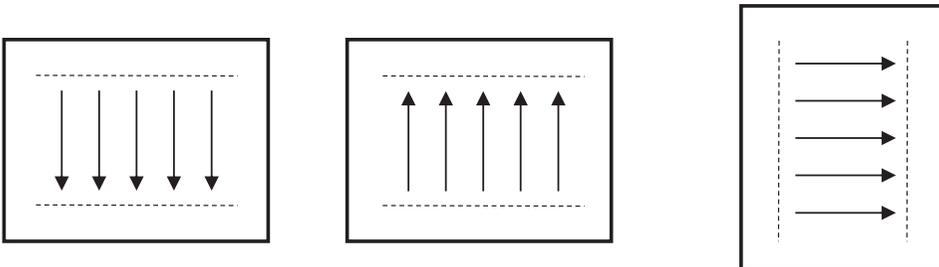


Abb. 13-1: Ideale Verdrängungsströmung

Zur Anwendung kommt die Verdrängungsströmung in OP-Räumen, Laboratorien und Reinräumen. Eine Sonderform der Verdrängungsströmung stellt die Quelllüftung dar. Hier wird der thermische Auftrieb von Personen und Geräten so ausgenutzt, dass die vertikale Luftströmung die örtliche Raumbelastung senkt. Abb. 13-2 zeigt eine entsprechende vereinfachte Darstellung.

⁸⁵⁾ Verdrängungslüftung = Kolbenströmung

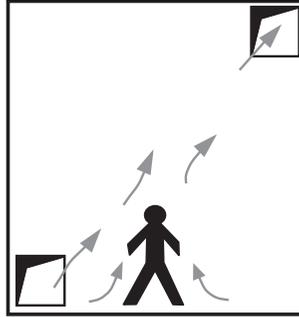


Abb. 13-2: Quelllüftung – schematische Darstellung

Eine weitere Strömungsform im Raum stellt die Verdünnungsströmung (auch als Misch- oder Strahllüftung bezeichnet) dar. Bei ihr wird durch Ansaugung (Induktion) von Raumluft in einen Zuluftstrahl eine Konzentrationsverringering der Schadstoffe erreicht. Je nach Zuluftstrahlführung unterscheidet man die in Abb. 13-3 dokumentierten Luftführungen. Bei ausreichend großen Räumen bilden sich bei seitlichem Lufteintritt großräumige Wirbel heraus (im Gegensatz zu den nicht vermeidbaren kleinräumigen, die bei sämtlichen Formen der Verdünnungslüftung feststellbar sind).

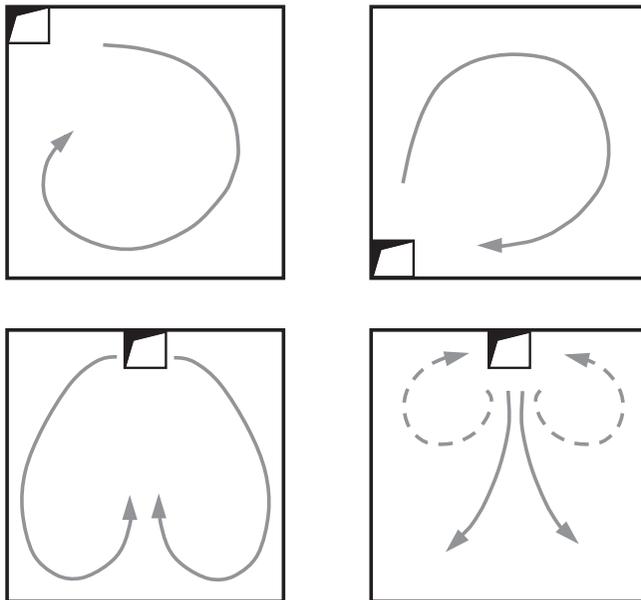


Abb. 13-3: Zuluftstrahlführung im Raum

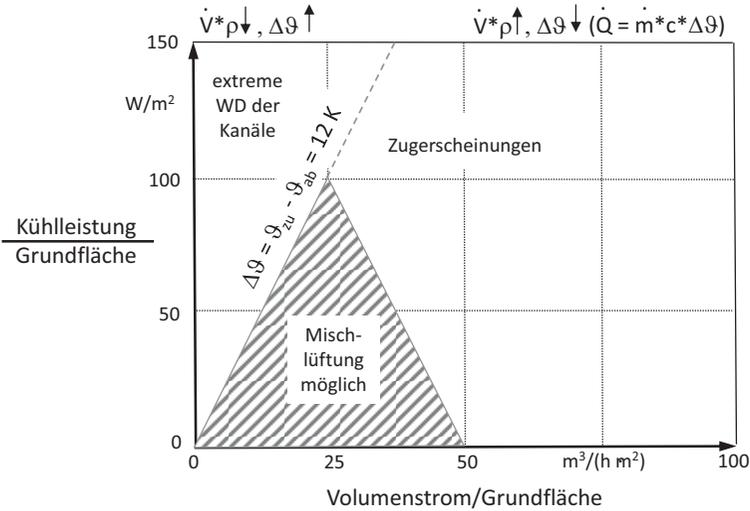


Abb. 13-4: Kühlleistung als Funktion des Volumenstromes

Das Einsatzgebiet der Mischlüftung ist bis auf eine maximale Kühlleistung von $\dot{q} = 100 \text{ W/m}^2$ begrenzt, da es sonst zu wärmephysiologisch kritischen Zuständen kommen kann. Werden größere Kühlleistungen benötigt, muss die Mischlüftung mit weiteren Kühleinrichtungen kombiniert werden (z. B. Kühldecke). Abb. 13-4 zeigt hierzu die entsprechenden Grenzen.

13.2 Grundlagen der Strahlausbreitung (Zuluft)

Die Strahlausbreitung der Zuluft hat entscheidenden Einfluss auf die raumklimatischen Parameter. Grundsätzlich ist eine Einteilung in den Freistrah, den Wandstrahl, den Zuluftstrahl im begrenzten Raum sowie dem isothermen Strahl möglich. Der Freistrah ist dadurch gekennzeichnet, dass dessen Ausbildung bei ungehindertem Austritt aus runder oder eckiger Zuluftöffnung (Sonderform des ebenen Freistrahls aus Lüftungsschlitzen) erfolgt. Beim Wandstrahl verläuft der Luftstrahl in unmittelbarer Nähe einer parallel orientierten, waagerechten Wand. Der Zuluftstrahl im begrenzten Raum wird in seiner Ausbildung durch die Raumumfassungskonstruktion behindert. Beim isothermen Strahl besteht keine Temperaturdifferenz zwischen Strahl- und Raumluft (Sonderform). Nachfolgend sollen die Grundlagen für die Zuluftstrahlausbreitung im Raum näher erläutert werden.

13.2.1 Waagerechter, runder, isothermer Freistrah

Der waagerechte, runde, isotherme Freistrah stellt einen idealisierten Zuluftstrahl dar. Abb. 13-5 zeigt für diesen Fall die wichtigsten Kenngrößen.

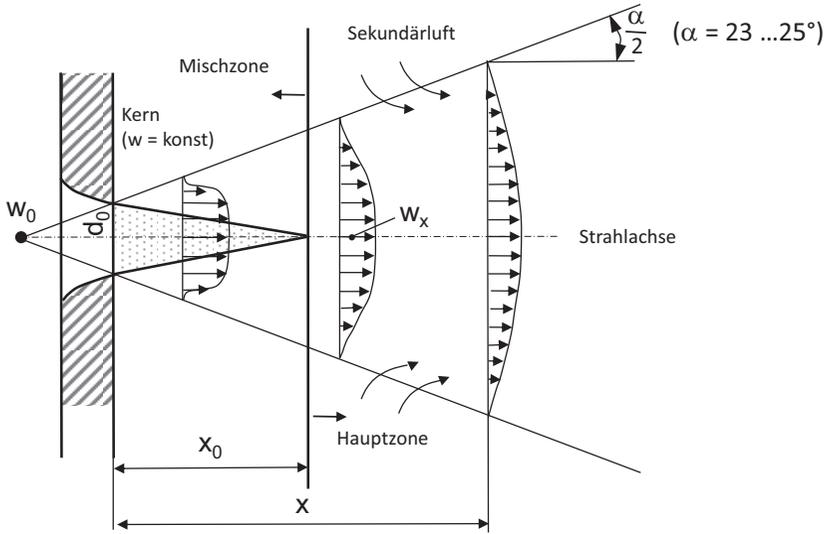


Abb. 13-5: Waagrecht, runder, isothermer Freistrah

Kennzeichnend für diesen Freistrah ist, dass er eine symmetrische Kernzone aufweist, in der die Ausgangsgeschwindigkeit vorliegt. In die Zuluft wird Sekundärluft eingemischt, was zu einer Geschwindigkeitsverringering führt. Die ursprüngliche (ungestörte) Strahlaustrittsgeschwindigkeit bleibt nur im Kernstrahl bis zur Lauflänge $x = x_0$ (Anfangsabschnitt) erhalten. Ist die Kernzone vollständig abgebaut, so spricht man von der Hauptzone. Am Rande des Strahls gilt $w = 0 \text{ m/s}$. Entlang der Lauflänge nimmt die Geschwindigkeit immer weiter ab. Die Geschwindigkeit entlang der Lauflänge x kann mit der Gl. 13.1 bestimmt werden.

$$w_x = \frac{x_0}{x} \cdot w_0 \tag{13.1}$$

Ein Zusammenhang zwischen der Strahlgeschwindigkeit w_x , w_0 , der Lauflänge x sowie der Zuluftöffnung d_0 wurde erstmals von REGENSCHNEIT [79] über die Mischzahl m definiert. Es gelten die Zusammenhänge nach Gl. 13.2 sowie 13.3

$$m = \frac{d_0}{x_0} \tag{13.2}$$

$$w_x = w_0 \cdot \frac{1}{m} \cdot \frac{d_0}{x} \tag{13.3}$$

Tab. 13-1 dokumentiert für praktisch relevante Formen von Zuluftöffnungen eine Zusammenstellung der Mischzahlen⁸⁶⁾.

⁸⁶⁾ Mit zunehmender Entfernung vom Auslass verschwinden die Strahldifferenzen zwischen rundem und eckigem Auslass. Bei scharfkantigen oder verengten Zuluftgittern (Jalousien, Lochgittern,...) muss die Luftschnürung berücksichtigt werden.

Tab. 13-1: Richtwerte für m in Abhängigkeit der Form der Zuluftöffnung

Zuluftöffnung	M	Einflussgröße
Düse	0,14...0,17	
Rechteck (frei)	0,17...0,20	
Schlitz ($b/h = 20..25$)	0,20...0,25	Seitenverhältnis
Lochgitter	0,22...0,40	Lochdurchmesser
Steggitter	0,18...0,50	Stegwinkelstellung

Neben der Geschwindigkeit entlang der Achse des Freistrahles ist eine weitere wichtige Größe für die Auslegung die Wurfweite des Zuluftstrahls. Sie wird als diejenige Strahllauflänge festgelegt, bei der die axiale Strahlgeschwindigkeit auf einen definierten Bezugswert abgesunken ist. Im Allgemeinen wird $w_x = 0,5 \text{ m/s}$ verwendet. Mit $x = L$ folgt aus Gl. 13.3

$$L = \frac{w_0}{w_x} \cdot \frac{d_0}{m} \tag{13.4}$$

sowie für den runden Querschnitt

$$L = \frac{w_0}{w_x} \cdot \frac{\sqrt{4/\pi} \cdot \sqrt{A}}{m} \tag{13.5}$$

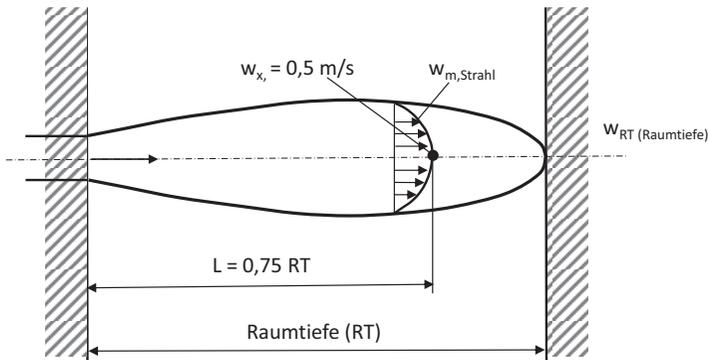


Abb. 13-6: Strahlausbreitung

Setzt man für die Lauflänge $= 0,75 \cdot \text{Raumtiefe}$ (Empfehlung, vgl. Abb. 13-6), so ergeben sich $w_{RT} = 0,2...0,3 \text{ m/s}$ und $w_{m,Strahl} = \frac{w_x (\hat{=} 0,5 \text{ m/s})}{3}$.