

# DIMENSIONIERUNG VON DÜSEN ALS LUFTDURCHLÄSSE FÜR RAUMLUFTTECHNISCHE ANLAGEN

T. RÁKÓCZY

Brandi Ingenieure GMBH. D-5000 Köln

Eingegangen am 29 März 1984

## Summary

The behaviour of free jets is long known and published. This paper presents a new dimensioning method for circular supply air outlets. It is recommended for the ventilation of large halls (halls, lecture rooms, theatres, etc.) primarily in cases when the realization of a horizontal air introduction is intended.

Das Verhalten der freien Strahlen ist seit Jahrzehnten untersucht und die theoretischen als auch die experimentellen Ergebnisse der Untersuchungen bekannt [1], [2].

Die annähernd ideale Düsenform zeigt Abb. 1. Die Anwendung der Düsen ist vor allem bei horizontaler Luftführung bei Hallen, Hörsälen, Konzertsälen, Theatern usw. gegeben. Die Düsendurchlässe sind in Fällen wie Mehrzwecknutzung von Hallen, wo kein festes Gestühl vorgesehen ist, besonders gut geeignet. Am zweckmäßigsten können die Düsen, die die Luft horizontal in den Raum einführen, in der halben Höhe, aber nicht tiefer als ca. 3 m über Fußboden zugeordnet werden. Bei dieser Zuordnung möchte man sicherstellen, daß die Lampenwärme sowie die übliche Wärmelast der Halle, die auf dem konvektiven Weg nach oben steigt und das sogenannte Wärmepolster bildet, nicht voll heruntergerissen wird, sondern an den Höchstpunkten der Decke mit spezifisch hohen Temperaturen aus dem Raum transportiert werden können.

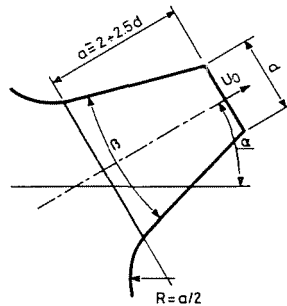
Auf diese Weise wird die Halle thermisch entlastet, und so bietet sich die Möglichkeit, raumluftechnische Anlagen mit niedrigeren Investitions- und Betriebskosten zu konzipieren gegenüber einem oberen Lufteinblasungs-Prinzip. Weiterhin bringt das höhere Temperaturniveau des Abluftvolumenstromes eine günstigere Energieersparnis im Falle eines Umluftbetriebes bzw. bei Anwendung von Wärmerückgewinnungs-Systemen.

Um die horizontale Lufteinblasung zu stabilisieren, empfiehlt sich, die Düsen unter einem geringen Anstellwinkel, von der horizontalen Ebene

gemessen, nach den Prinzip-Skizzen von Abb. 2 auszurichten. Der Höchstpunkt des Strahlkernes in der horizontalen und vertikalen Ebene von der Düsenmitte läßt sich nach den Gleichungen 1 und 2 ermitteln.

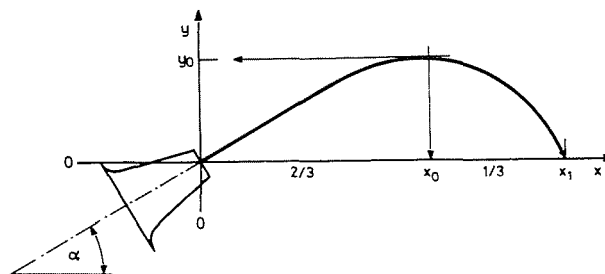
$$\frac{X_0}{d} = 1,886 \cos \alpha \sqrt{\frac{\sin \alpha}{|Ar| m}} \quad (1)$$

$$\frac{Y_0}{d} = 1,257 (\sin \alpha)^{3/2} \sqrt{\frac{1}{|Ar| m}} \quad (2)$$



- d Austrittsdurchmesser
- a Länge
- R Radius des Einlaufes
- $\alpha^0$  Anstellwinkel von der horizontalen Ebene gemessen
- $U_0$  Austrittsgeschwindigkeit
- $\beta$  Kegelwinkel  $10-30^\circ$

Abb. 1. Darstellung einer Düse



- $x$  ist in m die horizontale Weglänge
- $y$  ist in m die vertikale Weglänge
- $x_1 \approx 1,5 \cdot x_0$

Abb. 2. Höchstpunkte des Strahlkernes bei Düsen mit einem Anstellwinkel

worin  $Ar = \frac{g \cdot \Delta T \cdot d}{T_R \cdot U_0^2}$  die Archimedeszahl

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

$\Delta T$  = die Temperaturdifferenz zwischen Raum und Strahl

$T_R$  = in K die Raumtemperatur

$m = 0,1$  bei  $\Delta T = -10 \text{ K}$

die Mischzahl bei runden Strahlen bedeuten.

Der Strahl taucht wieder in die Ausblaseebene hinein, in einer horizontalen Entfernung von  $X_1$  (siehe Abb. 2). Die Höchstpunkte eines Strahles in der horizontalen Ebene  $X_0$  und in der vertikalen Ebene  $y_0$  bei verschiedenen Anstellwinkeln stellt Abb. 3 dar. Zu der Ermittlung der Punkte wurde ein

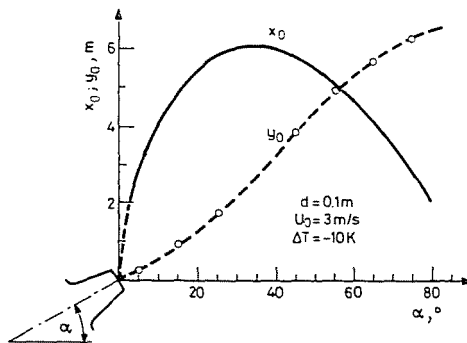


Abb. 3. Höchstpunkte in der horizontalen und vertikalen Ebene eines Strahles bei unterschiedlichen Anstellwinkeln

Düsendurchmesser von  $0,1 \text{ m}$ , eine Luftaustrittsgeschwindigkeit von  $U_0 = 3 \text{ m/s}$  und eine Temperaturdifferenz von  $-10 \text{ K}$  in Rechnung gestellt.

Die Höchstpunkte in Abhängigkeit der Luftaustrittsgeschwindigkeiten  $U_0$  bei den gängigen Anstellwinkeln von  $5, 10$  und  $15^\circ \text{C}$  und bei den Düsendurchmessern von  $0,05, 0,15$  und  $0,2 \text{ m}$  zeigen die Abb. 4 und 5, wobei die horizontalen Entfernungen in Abb. 4 und die vertikalen Entfernungen, jeweils von der Ausblaseebene gemessen, in Abb. 5 dargestellt sind. Diese Daten beziehen sich alle auf eine Temperaturdifferenz zwischen Raum- und Einblastemperatur von  $-10 \text{ K}$ . Die Mischzahl hat man nach Regenscheid [2] bei  $\Delta t = -10 \text{ K}$  mit einem Wert von  $m = 0,1$  angewandt. Die Gleichungen 1 und 2 gestatten, zu allen weiteren Dimensionen von Düsendurchmessern sowie Anstellwinkeln und Temperaturdifferenzen die Höchstpunkte des Strahlkernes zu ermitteln.

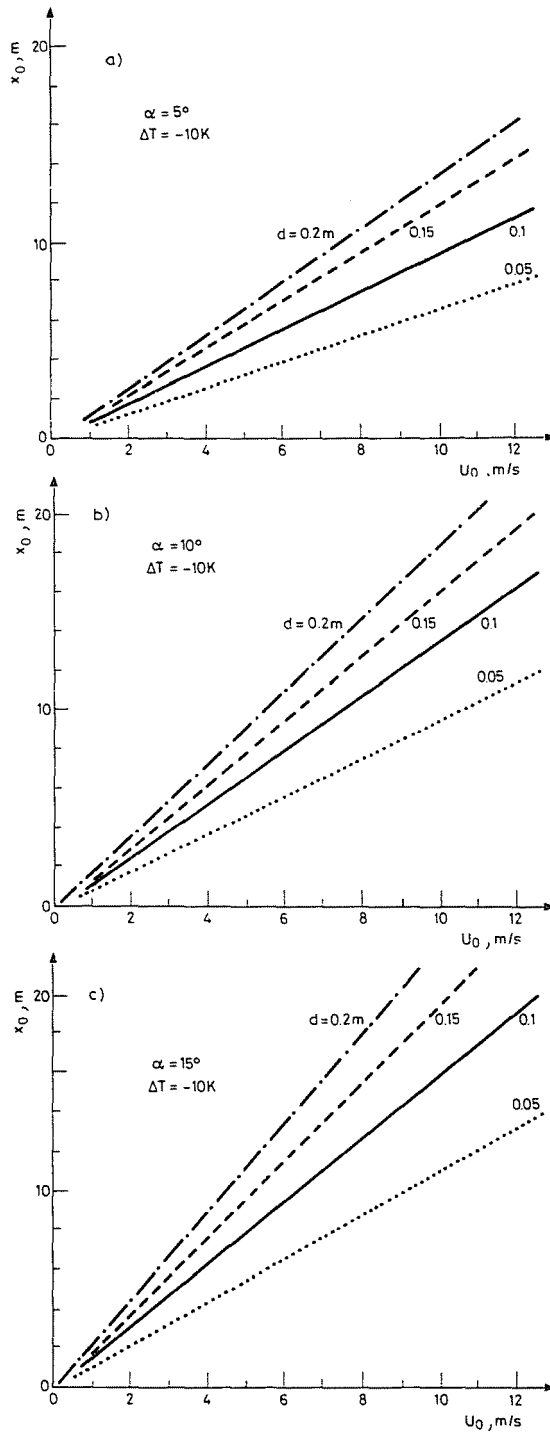


Abb. 4a, 4b und 4c. Horizontale Entfernung der Höchstpunkte in Abhängigkeit von Luftaustrittsgeschwindigkeiten:  $U_0$  bei verschiedenen Düsendurchmessern und Anstellwinkeln

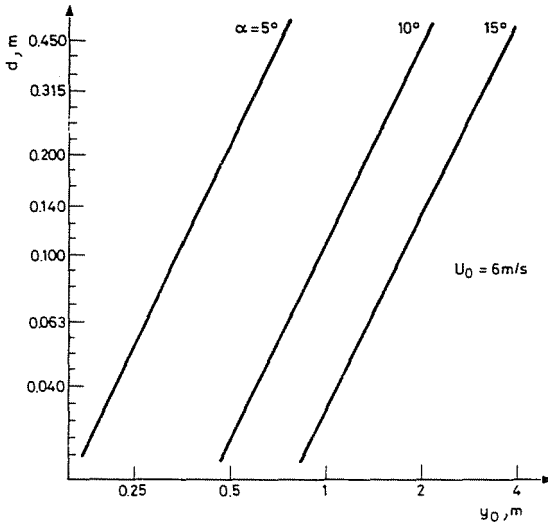


Abb. 5. Vertikale Entfernung der Höchstpunkte bei Luftaustrittsgeschwindigkeit:  $U_0 = 6$  m/s, verschiedenen Düsendurchmessern und Anstellwinkeln

Um die Düsendimensionierung zu erleichtern, wurde ein Auswahldiagramm in Abb. 6 dargestellt. Auf diesem Bild sind die Zusammenhänge zwischen Düsendurchmesser, Luftaustrittsgeschwindigkeiten aus den Düsen, Volumenströme je Düse und die Luftgeräusche im Strahl dargestellt.

Der Schalldruckpegel läßt sich bei einer runden und tormrichtigen Düse mit der folgenden Annäherungsformel ermitteln:

$$L = 10 \log A + 60 \log U_0 - 2 \quad \text{dB(A)} \quad (3)$$

Um das effektive Strahlverhalten untersuchen zu können, wurden die Abb. 7a und 7b dargestellt. In diesen Bildern sind die Abhängigkeit vom effektiven Strahlweg  $L$  bezogen auf den Düsendurchmesser, den induzierten Volumenstrom bezogen auf Düsenvolumenstrom  $\dot{V}_0$ , die mittlere Geschwindigkeit  $U_m$  bezogen auf die Austrittsgeschwindigkeit  $\dot{V}_0$ , sowie die mittleren Temperaturdifferenzen  $\Delta T$  bezogen auf  $\Delta T_0 = t_R - t_{Zul}$  für runde- und Rechteck-Düsen dargestellt. Es ist noch zu vermerken, daß die Verhältniszahlen der Abb. 7 nur indirekt durch die Mischzahl, die eine Beziehung mit der Reynolds-schen Zahl hat, von der Luftgeschwindigkeit abhängig sind. Eine direkte Beziehung zwischen der Luftaustrittsgeschwindigkeit der Düse und dem induzierten Volumenstrom, der mittleren Geschwindigkeit des freien Strahles und der Temperaturdifferenz des Strahles gibt es nicht.

Die Luftführung in einem Raum, wo die Luft durch Düsen annähernd horizontal eingeblasen wird, läßt sich ohne weiteres beherrschen. Düsen sind in den Räumen zu bevorzugen, bei denen keine sogenannten Wechsellasten, sondern nur Kühllasten womöglich mit einem konstanten Wert in der

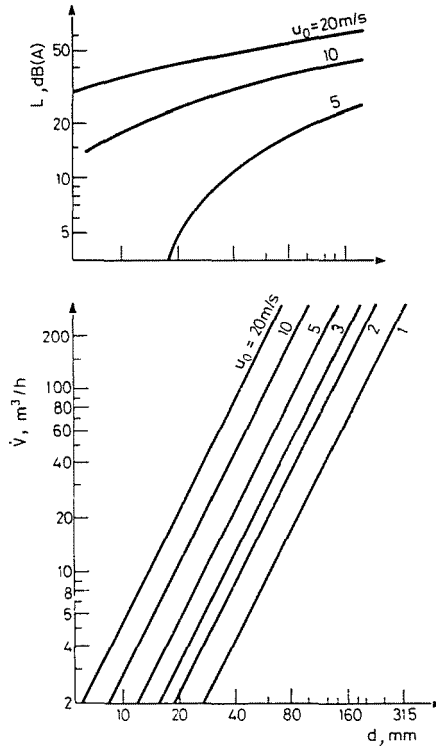


Abb. 6. Düsenauslegungs-Diagramm

Zeiteinheit auftreten. Im Falle von Wechsellasten sollten die Düsen in Abhängigkeit von den Lasten ihrer Anstellwinkel verändert werden, um die Raumluftdurchspülung stets ohne Zugserscheinungen innerhalb der Aufenthaltszone zu gewähren. Da die Verstellbarkeit der Düsen sowie die Steuerung derselben zu recht teuren und komplizierten Konstruktionen führt, sollen in Hallen, wo die Wechsellasten bei normaler Nutzung auftreten, andere Arten von Luftdurchlässen vorgezogen werden.

Hierbei muß man bemerken, daß eine Aufheizung der Raumlufte vor Inbetriebnahme einer Halle nicht als Raum mit Wechselbelastung zählt.

- Vorteile der annähernd horizontalen Luftführung in einer Halle sind:
- Möblierungsfreiheit in der Aufenthaltszone ohne Anpassungsschwierigkeiten an der Raumlufttechnik.
  - Deckenfreiheit für akustische und weitere gestalterische Elemente.
  - Anwendungsmöglichkeit von dem wirtschaftlichen und günstigen Einkanal variabler Volumenstrom-System, wodurch eine weitgehendste

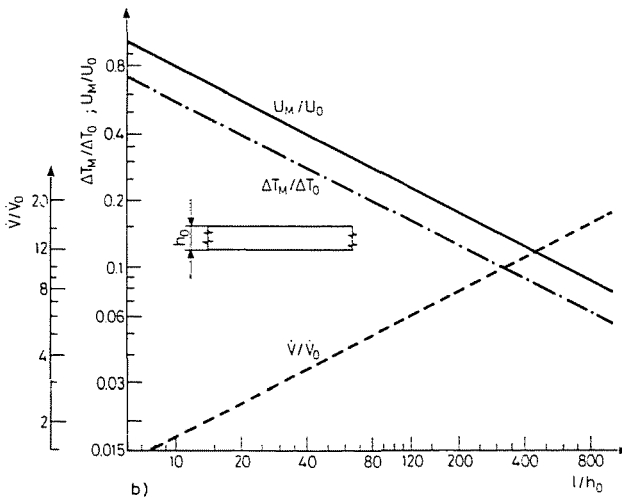
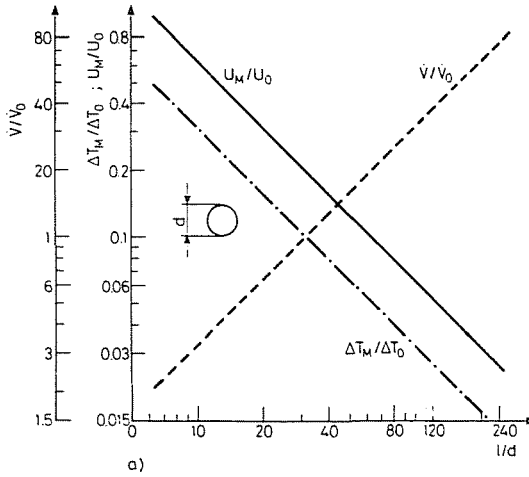


Abb. 7a und 7b. Zunahme der Induktionsverhältnisse, Abnahme der mittleren Geschwindigkeiten und der Temperaturdifferenzen entlang eines Strahles

- betriebskostengünstige Anpassung an den Innenlasten der Halle ermöglicht wird.
- Günstige Voraussetzungen für Energierückgewinnung durch die höheren Temperaturunterschiede zwischen Fortluft- und Außenlufttemperaturen.
  - Es kann keine direkte Anblasung von Personen mit dem Zuluftstrom erfolgen.

### **Zusammenfassung**

Das Verhalten der freien Strahlen ist seit Jahrzehnten untersucht und so die theoretischen als auch die experimentellen Ergebnisse der Untersuchungen bekannt. Die Arbeit präsentiert ein neues Dimensionierungsverfahren für den Fall der kreisförmigen Luftdurchlässe. Ihre Methode ist bei Lüftung von Groß-Hallen (Hallen, Hörsälen, Theatern, usw.) empfohlen besonders wenn horizontale Luftführung verwirklicht wird.

### **Literatur**

1. BATURIN, V. V.: Fundamentals of Industrial Ventilation, Third Enlarged Edition, Pergamon Press 1972.
2. REGENSCHKEIT, B.: Die Berechnung von radialströmenden Frei- und Wandstrahlern sowie von Rechteck-Strahlern, Gesundheits-Ingenieur 7 193 (1971).

Dr.-Ing. Tibor RÁKÓCZY D 5000 Köln, Vorgebirg Str 51