



M5

UNTERSUCHUNG VOM RADIALEN FREISTRAHL

1. Ziel der Messung

Bei lufttechnischen Anlagen werden radiale Freistrahle für Luftzuführung mit kleiner Geschwindigkeit oft angewandt. Ähnlich zu den zylindrischen Freistrahlen, die Geschwindigkeit des in radialen Freistrahlen strömenden Mediums hat einen Maximalwert in der Symmetrieebene. Der Maximalwert der Strömungsgeschwindigkeit vermindert sich neben der Vergrößerung der Freistrahlsbreite in immer größeren Abständen vom Ausblasequerschnitt. Das Ziel der Messung ist, die Strömungseigenschaften des radialen Freistrahles – durch Kartierung des Geschwindigkeitsfeldes – kennenzulernen.

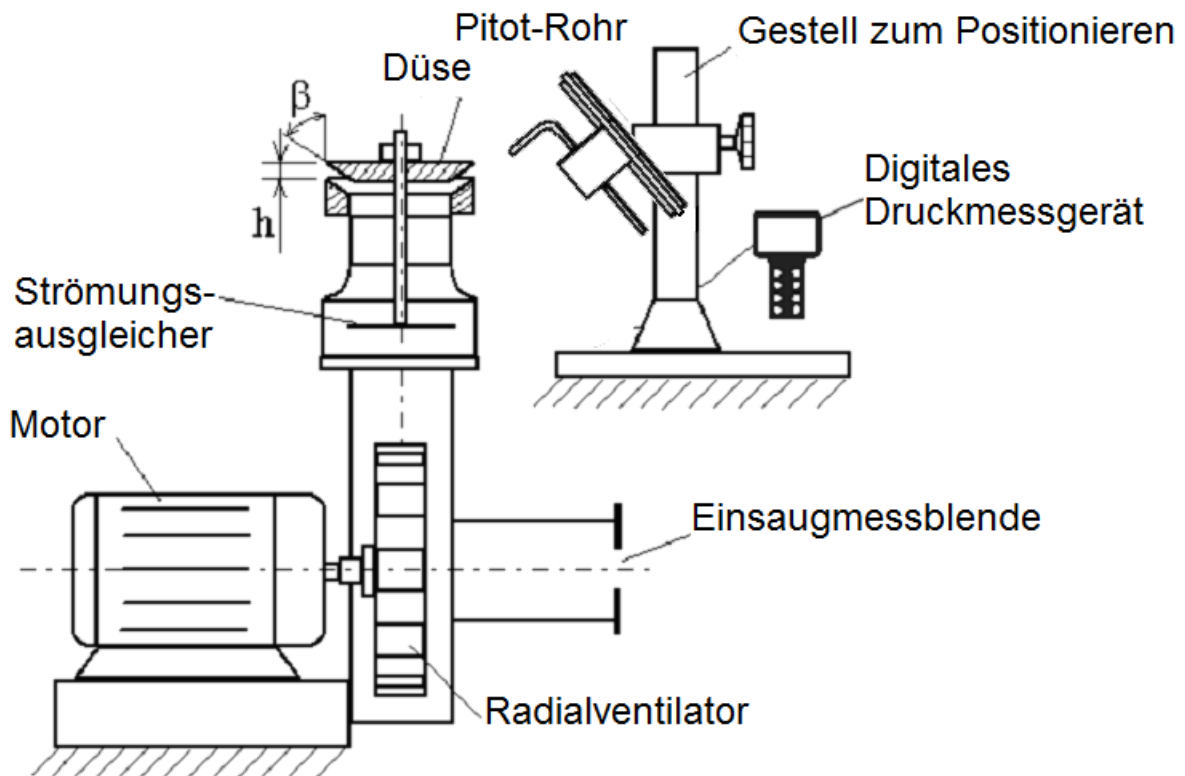
2. Beschreibung der Messeinrichtung

Mit Hilfe eines Radialventilators lassen wir Luft durch das in der 1. Abbildung dargestellte Luftzuführungselement ausströmen. Es werden vier verschiedene Ausblaselemente eingebaut, bei denen der Winkel zwischen dem austretenden Strahl und der Symmetrieachse unterschiedlich sind, $\beta=30^\circ$, 45° , 60° , 90° . Die Öffnungsbreite h der Düse kann verändert werden, aber wir müssen darauf achten, dass diese Breite zwischen $h_{\min}=1\text{mm}$ und $h_{\max}=4\text{mm}$ sein soll, da im Fall einer zu großen Öffnungsbreite ein asymmetrisches Strömungsbild schon im Ausblasenquerschnitt entsteht, und die Achse des Freistrahles weicht bedeutend von der mit β angegebenen geometrischen Achse ab. Während der Messung soll nur der Geschwindigkeitsraum eines radialen Freistrahles gemessen werden, der mit einer bestimmten h Öffnungsbreite und einem Ausblaselement mit eingestellten β Winkel erzeugt wird.

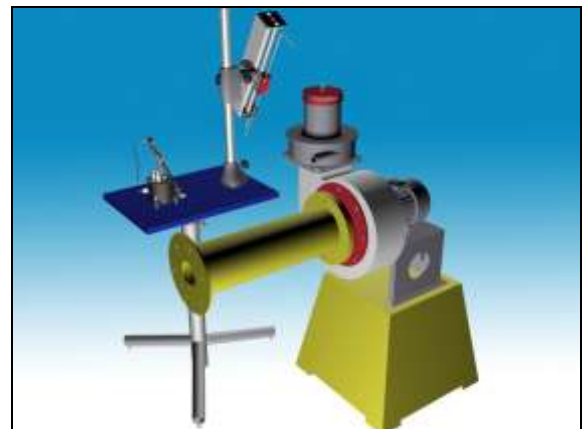
Die Geschwindigkeit der ausströmenden Luft wird mit einem Pitot-Rohr und mit einem zum Pitot-Rohr gebundenen digitalen Druckmessgerät gemessen. Das Pitot-Rohr kann mit Hilfe eines Positioniergestells beliebig positioniert werden.

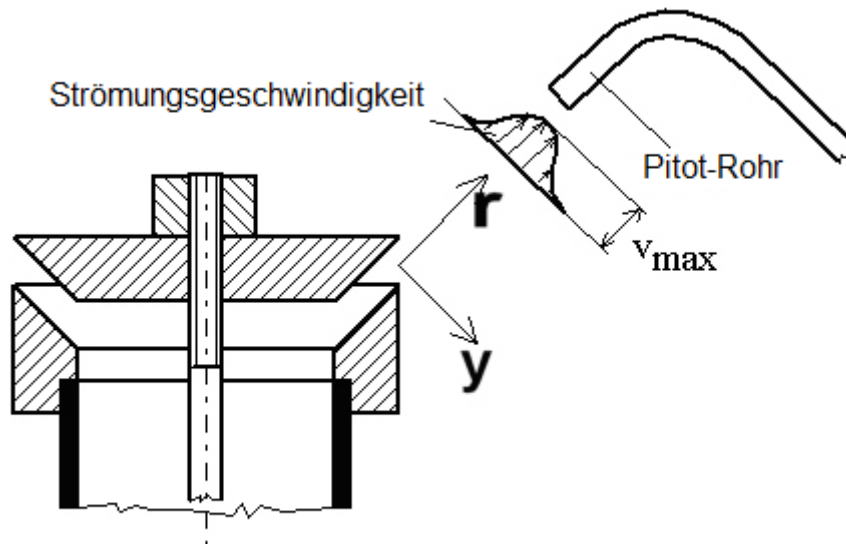
Der Ventilator saugt aus der freien Atmosphäre. Der strömende Volumenstrom wird mit Hilfe einer Einsaugmessblende auf der Saugseite gemessen.

Mit Hilfe der Messeinrichtung können Freistrahle untersucht werden, die mit der Achse des Lufteinführungselements einen Winkel von 90° einschließen (Düse „1“), oder den Ausblasewinkel $\beta < 90^\circ$ haben (Düse „2“, „3“, und „4“).



1. Abbildung Skizze der Messeinrichtung





2. Abbildung: Skizze des Koordinatensystems

3. Messprinzip

Der Freistrahler hat die Form einer Ebene oder eines Kegelstumpfes, die Stromlinien der strömenden Luft sind mit guter Annäherung parallele Geraden. Von der Ausblasöffnung in der Achse des Strahles, in r -Richtung nimmt die in den Querschnitten ($r=\text{konst.}$) messbare v_{\max} maximale Geschwindigkeit immer ab, während der Volumenstrom q_V der im Strahl strömenden Luft immer zunimmt. (Der Strahl reißt die Luft von der Umgebung mit, siehe [1] 7. Kapitel).

Der Luftdruck im Freistahl ist mit guter Annäherung gleich dem Atmosphärendruck, deshalb ist die Differenz zwischen dem Gesamtdruck p_{Ges} (mit dem Pitot-Rohr im Staupunkt gemessen) und dem Atmosphärendruck p_0 gleich dem dynamischen Druck p_{dyn} der Luft. Daraus kann die Strömungsgeschwindigkeit im gegebenen Punkt berechnet werden.

$$v_i = \sqrt{\frac{2}{\rho} p_{\text{dyn},i}}$$

4. Prozess der Messung

- Messung des durch das Gerät strömenden Volumenstromes mit Hilfe einer Einsaugmessblende.
- Das Pitot-Rohr mit Hand im Mittelpunkt vom Ausströmungsquerschnitt der Ausblasöffnung gehalten, wird entlang dem Umkreis bei jedem 90° , in 4 Punkten überprüft, ob das Strömungsbild symmetrisch ist (ob genügend gleichförmig ist). Angenommen, dass die Geschwindigkeitsverteilung im Austrittsquerschnitt gleichförmig ist, kann das Volumenstrom des ausströmenden Mediums mit Hilfe der Messungen in den vier Punkten annähernd bestimmt werden, und kann mit dem mit Hilfe der Einsaugmessblende bestimmten Wert verglichen werden. Wegen der Kontinuität sollen diese Volumenströme (mit guter Annäherung) übereinstimmen, so können die Größenordnungen vor den weiteren Messungen überprüft werden.
- Das Pitot-Rohr ist auf ein Positioniergestell gefestigt, wo es mit einer Gewindespindel bewegt werden kann. So im Abstand $r=\text{konst.}$ mit der Teilung $\Delta y=1\text{mm}$ (eine Gewindesteigung die Spindel drehend) kann das Geschwindigkeitsprofil im Querschnitt des radialen Freistrahles Schritt zu Schritt bestimmt werden.
Es müssen mindestens 10 Geschwindigkeitsprofile je $\Delta r=5\text{mm}$ ($r=0\text{mm}$, von der Ausblasenöffnung) gemessen werden.

5. Auswertung der Messung:

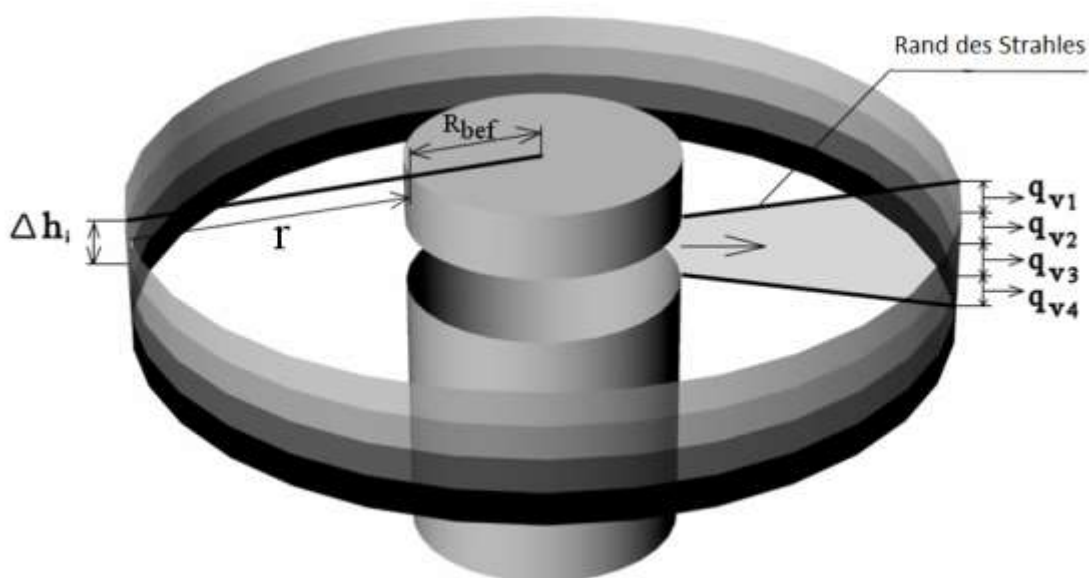
- Darstellen Sie in einem gemeinsamen Diagramm die Geschwindigkeitsprofile, die in verschiedenen r Abständen (von der Düsenöffnung entfernt) gemessen wurden! $v(r, y)$
- Darstellen Sie in einem gemeinsamen Diagramm die Geschwindigkeitsprofile, die in verschiedenen r Abständen (von der Düsenöffnung entfernt) gemessen wurden, für lokale maximale Geschwindigkeit v_{max} und für den zur Hälfte der maximalen Geschwindigkeit gehörigen $y_{1/2}$ Wert!! $v(r, y) v_i/v_{max}=f(y/y_{1/2})$
- Darstellen Sie die maximalen Geschwindigkeitswerte der in den Querschnitten gemessenen Geschwindigkeitsprofile als Funktion des Abstandes r (von der Düsenöffnung entfernt)! $v_{max}(r)$
- Darstellen Sie den im Strahl strömenden Volumenstrom als Funktion des Abstandes r (von der Düsenöffnung entfernt)! $q_v(r)$

Die untersuchten, durch Querschnitten ($r=\text{konst.}$) strömenden Volumenströme sollen durch einfaches numerisches Integrieren berechnet werden.

Die Berechnung im Fall von einem Einsaug von 90° :

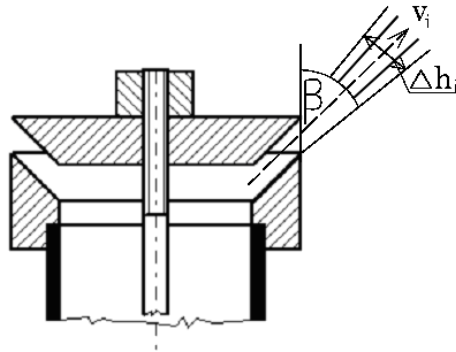
Bestimmen wir die Oberfläche des untersuchten Freistahlquerschnittes, die ein Zylindermantel ist. (im Falle von $\beta \neq 90^\circ$ ein Kegelmantel)

Der Flächeninhalt des Zylindermantels kann mit Hilfe vom Radius $s=R_{\text{bef}}+r$ berechnet werden ($A_{\text{Mantel},i} = 2s\pi \cdot h_i$). h_i ist gleich der Breite der Teilfläche des Zylindermantels im gegebenen Querschnitt. Diese ergibt sich im gegebenen Querschnitt aus den Werten, die mit der selben Teilung $\Delta y=1\text{mm}$ gemessen wurden. Wenn wir die zur gegebenen Teilflächenbreite ($\Delta y=1\text{mm}$) des Zylindermantels vom Freistahl gehörige Teilvolumenströme summieren, erhalten wir den zum $r=\text{konst.}$ gehörenden Volumenstrom. Der Teilvolumenstrom kann aus der Durchschnittsgeschwindigkeit und der Zylindermantelteilfläche. (pl. $q_{v,i} = A_{\text{Mantel},i} \cdot \bar{v}_i$) berechnet werden. In einem Querschnitt soll der Teilvolumenstrom für jede einzelne Teilfläche berechnet werden und die Summe von ihnen ergibt uns den ganzen Teilvolumenstrom, der durch den Querschnitt strömt. Für die Auswertung soll diese Berechnung für jeden Querschnitt ($r=\text{konst.}$) durchgeführt werden.



3. Abbildung: Schematische Abbildung zur Erklärung des numerischen Integrierens

Durchführung des numerischen Integrierens im Fall von schrägem Ausblasen:



4. Abbildung: Schematische Abbildung zur Erklärung des numerischen Integrierens

$$q_{V,i} = A_{\text{palásti}} \cdot \bar{v}_i = \sum_{i=1}^n 2(R_{\text{bef}} + r_i \cdot \sin \beta) \cdot \pi \cdot \Delta h_i \cdot v_i$$

Achtung! Zur Auswertung der Messung lesen Sie unbedingt das Kapitel [1] über die Freistrahle und anhand dessen werten sie die Ergebnisse aus! Wichtig sind die Länge der Anfangs- und der Verlangsamungsstrecke, bzw. die Veränderung der Geschwindigkeit und des Volumestromes entlang der Länge des Freistrahles. Vergleichen Sie die als Ergebnis erhaltenen Daten mit den Literaturwerten und den theoretischen Überlegungen!

Fehlerberechnung

Die Fehlerberechnung muss für jeden einzelnen Punkt der Geschwindigkeitsmessung eines Geschwindigkeitsprofils (gemessen nach einem Kernabstand) durchgeführt werden. Für die Geschwindigkeit des gegebenen Geschwindigkeitsprofils (gemessen im k-ten Punkt):

Berechnung

der Strömungsgeschwindigkeit:

$$v_k = \sqrt{\frac{2 \cdot p_{\text{dyn},k}}{\rho_{\text{Luft}}}}$$

des absoluten Fehlers:

$$\delta v_k = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\delta X_i \cdot \frac{\partial v_k}{\partial X_i} \right)^2}$$

des relativen Fehlers:

$$\frac{\delta v_k}{v_k} = ?$$

Die X_i Größen und die dazu gehörigen Messfehler:

$$X_1 = p_0,$$

$$\delta p_0 = 100 \text{ Pa}$$

$$X_2 = T_0,$$

$$\delta T_0 = 1 \text{ K}$$

$$X_3 = p_{\text{dyn}},$$

$$\delta p_{\text{Gerät}} = 2 \text{ Pa}$$

Für weitere Infos siehe das Hilfsmaterial zur Fehlerberechnung!

Während der Messung darf man nicht vergessen

- Vor dem Einschalten der Messeinrichtung, und während des Betriebes der Messeinrichtung muss man davon überzeugt werden, dass der Betrieb unfallfrei ist. Man muss die anderen darauf aufmerksam machen, dass die Messeinrichtung eingeschaltet wird oder während der Messung etwas verändert wird.
- Aufschreiben des Atmosphärendrucks und der Raumtemperatur.
- Aufschreiben der Messeinheiten der von den angewandten Messeinrichtungen abgelesenen Werte und der Faktoren, die sich auf diese Messeinheiten beziehen (z.B. Schrägstellungswinkel vom Messschenkel des Schrägrohrmanometers).
- Aufschreiben des Typs und der Seriennummer des Messgerätes, und Aufschreiben der Dichte der Flüssigkeit im Messgerät.
- Die Messeinheiten der vom Messgerät abgelesenen Größen und der bei der Berechnung angewandten Größen müssen aufeinander abgestimmt werden.
- Die Druckmessgeräte (mit Flüssigkeit) dürfen nur entsprechend ausgeglichen benutzt werden (Pegel stimmen überein).
- Wir sollen aufmerksam bei der Einbindung des Druckmessgerätes und bei der Auswahl der + und - Seiten, bzw. der Messgrenze sein. Im allgemeinen bei allen Manometertypen, aber besonders bei dem Schrägrohrmanometer muss man darauf achten, dass das Gummirohr auf die Anschlussstücke des Druckmessers vorsichtig hinaufgesetzt werden soll. Man muss dabei das Benehmen der Messflüssigkeit folgen. Wenn die Auslenkung der Messflüssigkeit vor der Befestigung der Anschlussrohre den Maximalwert annähert, soll die Messgrenze des Messgerätes möglicherweise geändert werden. Wenn das nicht behilflich sein kann, dann soll ein für die Messung größerer Druckwerte geeignetes Messgerät gewählt werden. Gegenfalls strömt sich die Messflüssigkeit ins Anschlussrohr und verfälscht oder verunmöglicht so die Messung.
- Bei der Aufmontierung der Messblende soll man auf die luftdichte Montage achten, da die durch die eventuell entstehenden Risse ein- bzw. ausströmende Luft die Messergebnisse bedeutend verfälschen kann.
- Die Gummi- und Silikonenteile bzw. -rohre müssen vor der Messung und eventuell während der Messung überprüft werden, ob sie keine Risse und keinen Bruch haben, da mit solchen Messrohren werden alle bisherigen Messergebnisse verlorengehen. Diese Überprüfung kann mit dem Auge oder durch Druckprobe durchgeführt werden. Kritische Punkte sind die Anschlussstellen an Druckauslässe oder an Geräte.

Literatur

- [1] Lajos Tamás: Az áramlástan alapjai, Műegyetemi Kiadó, 2004.