

Windkanalmessungen

1. Kalibrierung eines Hitzdrahtanemometers

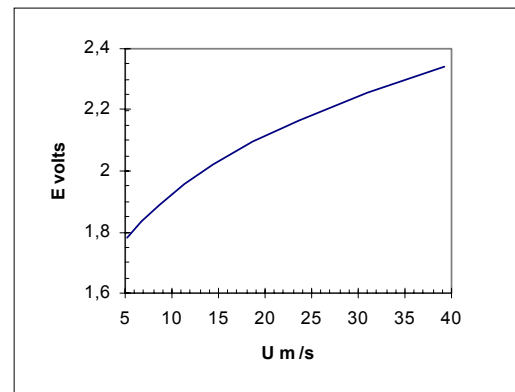
Funktion:

Bei der Hitzdraht-Anemometrie erfolgt die Geschwindigkeitsmessung mit einem elektrisch beheizten Draht. Dieser Draht gibt an seine Umgebung infolge Konvektion, Wärmeleitung und Wärmestrahlung Wärme ab. Maßgebend für die Wärmeabgabe bezüglich der Konvektion ist die Geschwindigkeit der Strömung; dazu muss die Temperatur des Hitzdrahtes über der Temperatur der Strömung liegen.

Regelt man den Hitzdraht durch eine entsprechende Schaltung z.B. auf eine konstante Temperatur, so ist die benötigte Spannung ein direktes Maß für die Geschwindigkeit. Der Spannungs- Geschwindigkeitsverlauf, bzw. die daraus abgeleitete Funktion, muss für jede Sonde mit einer bekannten Strömung ermittelt werden.

$$I^2 R_w^2 = E^2 = T_w (T_w - T_a)(A + B \cdot U^n) \quad \text{“King’s law”}$$

E... Hitzdrahtspannung
I... Hitzdrahtstrom
R_w... Drahtwiderstand
T_w... Drahttemperatur
T_a... Umgebungstemperatur
A, B, n sondenspezifische Konstante



Bedienung:

Die Sonde wird in einer Kalibriervorrichtung befestigt und über eine Pressluftversorgung von einer Düse angeströmt. Der Druck vor der Düse wird mit einem Betzmanometer (Achtung: Messung in mm WS) gemessen und mit der Formel $U = \sqrt{(2 \cdot p / \rho)}$ aus dem dynamischen Druck p (Pa) und der Dichte der Luft ρ (kg/m^3) berechnet.

Die Ausgangsspannung des Hitzdrahtanemometers wird mit einem Digitalvoltmeter gemessen. Ausgehend von der Nullströmung wird in 10 Schritten die Geschwindigkeit bis zu einem dynamischen Druck von 10 mm WS gemessen und die Spannungs- und Druckwerte aufgezeichnet. Diese werden in einem Diagramm ähnlich dem oben abgebildeten dargestellt.

Gleichzeitig werden das elektrische Signal eines Druckaufnehmers und das elektronisch linearisierte Hitzdrahtsignal mit einer computergesteuerten Datenerfassungsanlage gemessen und ausgewertet.

Luftdichte aus gemessenen Luftdruck und gemessener Temperatur mit Gasgleichung ermitteln:

Atmosphärischer Luftdruck $p_0 = 101325$ Pa, $R = 287,05$ J/kg · K.

Bei $T_{25} = 298,15$ K (25 °C) (Standardbedingungen) ist die Dichte:

$$\rho_{25} = 101325 / (287,05 \cdot 298,15) = 1,184 \text{ kg/m}^3.$$

2. Bestimmung der Turbulenz in einer Windkanalströmung mittels eines Hitzdrahtanemometers:

Funktion:

Die Windkanalströmung ist turbulent. Mit dem Hitzdrahtanemometer können die Schwankungen der Geschwindigkeit mit sehr guter zeitlicher Auflösung gemessen werden.

$$V(t) = \bar{V} + v(t) \quad [\text{Volt}]$$

$$v_{\text{eff}} = \sqrt{\overline{v(t)^2}} \quad [\text{Volt}]$$

Beim linearisierten Hitzdrahtanemometer besteht in guter Näherung ein linearer Zusammenhang zwischen der Spannung $V(t)$ und der Geschwindigkeit $U(t)$.

Der Turbulenzgrad $Tu = \frac{u_{\text{eff}}}{U}$ kann also als $Tu = \frac{v_{\text{eff}}}{V}$ berechnet werden.

Bedienung:

Die Hitzdrahtsonde wird in die Messstrecke neben dem Zylinder in die ungestörte Strömung gestellt. Der Mittelwert V und der Effektivwert v_{eff} der linearisierten Hitzdrahtspannung werden mit der Messwerterfassungsanlage in Volt gemessen.

Der Turbulenzgrad wird berechnet.

Bei drei Geschwindigkeiten wird eine Abhängigkeit von der Geschwindigkeit kontrolliert.

Hintergrund:

Schlichting H. Grenzschichttheorie: p. 440

Bei Messungen im Windkanal spielt die relative Größe der Längsschwankungen eine wichtige Rolle für die Übertragbarkeit der Messungen vom Modell auf die Großausführung und auch für den Vergleich der Messungen in verschiedenen Windkanälen untereinander, da insbesondere der Umschlag laminar-turbulent von der Größe der Schwankungsgeschwindigkeit stark abhängt. Die Größe der mittleren Schwankungsgeschwindigkeit im Windkanal wird maßgeblich bestimmt durch die Maschenweite der eingebauten Gitter und Siebe. In einiger Entfernung hinter den Sieben herrscht sog. *isotrope Turbulenz*, d.h. eine turbulente Strömung, bei welcher die mittlere Geschwindigkeitsschwankung in allen drei Koordinatenrichtungen gleich ist:

$$u'^2 = v'^2 = w'^2$$

Als Maß für die turbulente Schwankungsgeschwindigkeit (*Turbulenzgrad*) kann man dann die Größe $\sqrt{u'^2} / \bar{U}$ ansehen, die identisch ist mit

$$Tu = \sqrt{\frac{1}{3}(u'^2 + v'^2 + w'^2)} / \bar{U}$$

Durch den Einbau von genügend vielen und sehr feinmaschigen Gittern und Sieben lässt sich der *Turbulenzgrad* auf Werte in der Größenordnung von 0,1% und weniger herunterdrücken.

Bestimmung der Strouhal-Zahl bei der Wirbelablösung hinter einem Kreiszyylinder mittels eines Hitzdrahtanemometers:

Funktion:

Bei umströmten Zylindern treten im Nachlauf periodische Wirbelablösungen auf, die zusätzlich zur Widerstandskraft in Strömungsrichtung periodisch wechselnde Kräfte quer zur Strömungsrichtung verursachen. Wenn die Frequenz dieser Querkräfte mit der Eigenfrequenz des Zylinders zusammenfällt, kommt es zu Schwingungen, die bis zur Zerstörung führen können. Die Ausprägung dieses Phänomens ist von der Querschnittsform des Zylinders, der Reynoldszahl, der Turbulenz der Anströmung und der Oberflächenrauigkeit des Zylinders abhängig. Besonders gut ausgeprägt treten periodische Wirbelablösungen bei Zylindern mit Kreisquerschnitt auf. Anfällig sind daher z.B. Rohre in Wärmetauschern, Schornsteine oder Kühltürme.

Die dimensionslose Strouhal-Zahl S ist definiert als:

$$S = \frac{n_w \cdot D}{\bar{U}} \quad n_w \dots \text{Wirbelfrequenz (1/s); } D \dots \text{Zylinderdurchmesser (m)}$$

$$\bar{U} \dots \text{zeitliches Mittel der Geschwindigkeit (m/s)}$$

Die dimensionslose Reynoldszahl ist definiert als:

$$Re = \frac{\bar{U} D}{\nu} \quad \nu \dots \text{kinematische Zähigkeit; bei Standardbedingungen } 15.1 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

Bedienung:

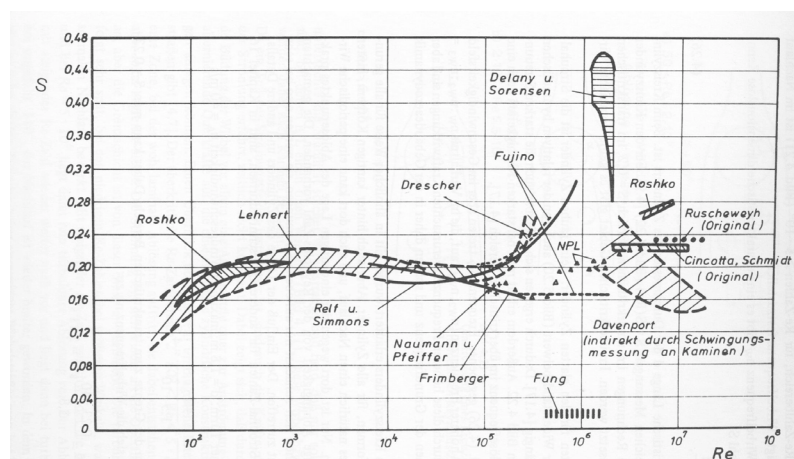
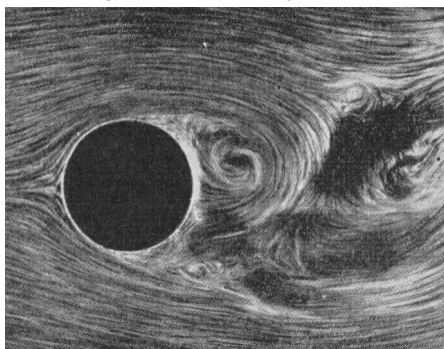
Die Hitzdrahtsonde wird in einem Abstand von $3D$ und seitlich versetzt um $1D$ hinter dem Zylinder aufgestellt. Das linearisierte Hitzdrahtsignal wird mit der Messwerterfassungsanlage gemessen und dann einer Fast-Fourier-Analyse unterzogen. Ergebnis ist eine Darstellung des Spektrums der Geschwindigkeitsschwankungen, in der eine ausgeprägte Spitze auftritt. Diese Frequenz wird bestimmt und dann die Strouhalzahl berechnet.

Dies wird bei drei Geschwindigkeiten wiederholt, um die Abhängigkeit von der Reynoldszahl zu kontrollieren.

Hintergrund:

Wirbelablösung

Schlichting nach Prandtl-Tietjens



Strouhalzahl S beim Kreiszyylinder in Abh. v. d. Re -Zahl aus Sockel H. Aerodynamik der Bauwerke, p. 38