

STAUROHRE NACH PRANDTL ZUR STRÖMUNGSMESSUNG

Anwendung

Staurohre werden in Verbindung mit Differenzdruckmessern zur Ermittlung von Druck, Geschwindigkeit und Menge strömender Gase verwendet. Sie weisen keine beweglichen, dem Verschleiß unterliegenden Teile auf.

Sie sind unempfindlich in Handhabung und Gebrauch. Aus diesem Grunde eignen sich Staurohre auch zum Einsatz unter rauen Einsatzbedingungen. Nacheichungen, wie sie gelegentlich bei Anemometern vorgenommen werden müssen, entfallen.

Unter Berücksichtigung der Dichte ρ des betreffenden Gases sowie der manometrischen Konstanten lässt sich eine hohe Messgenauigkeit erzielen.

Auch relativ schnell veränderliche Drücke werden ohne Verzögerung angezeigt, wenn die Verbindungsleitungen zwischen Staurohr und Differenzdruckmesser kurz sind und das Volumen des angeschlossenen Differenzdruckmessers klein ist.



Beim Staurohr (628) muss aufgrund der geringen Rohrquerschnitte auch unter günstigen Voraussetzungen mit einer Einstellzeit von ca. 60 (bzw. 30 bzw. 10) sek. bei Geschwindigkeiten von 2 (bzw. 10 bzw. 30) m/s gerechnet werden.

Staurohre haben den Beiwert 1. Im Gegensatz zu Düsen und Blenden verursachen Staurohre in Rohrleitungen keinen nennenswerten Druckverlust. Sie sind lageunabhängig. Abweichungen zwischen Strömungsrichtung und Achse des Staurohrkopfes bis zu 15° beeinflussen die Messungen praktisch nicht. Einwandfreie Messergebnisse lassen sich dann erzielen - das trifft für alle Strömungsmessgeräte zu - wenn die Strömung an der Messstelle frei von Drall und Turbulenz ist [siehe auch DIN 1945 „VDI - Verdichter - Regeln“, DIN 1946 (Blatt 1) „VDI - Lüftungs - Regeln“].

Im allgemeinen reicht eine störungsfreie Beruhigungsstrecke von 6 x D (D = lichter Durchmesser der Rohrleitung) vor und 4 x D hinter dem Messgerät aus. Hinter Krümmern ist eine Beruhigungsstrecke von 40 x D erforderlich. Durch zweckentsprechend angeordnete Umlenkleche kann auch hier die Einlaufstrecke auf ca. 6 x D verringert werden.

Ist die Strömung verdreht oder verwirbelt, muss vor dem Staurohr in der Entfernung von ca. 1 x D ein Gleichrichter vorgesehen werden. Er lässt sich leicht aus einer Anzahl dünnwandiger Rohre zusammensetzen. Die Rohre sollen einen Durchmesser von ca. 1/10 D und eine Länge von ca. 3/10 D aufweisen. Sie sind den ganzen Strömungsquerschnitt ausfüllend axial in die Rohrleitung einzubauen.

LAMBRECHT-Staurohre werden aus Messing hergestellt. Sie eignen sich für Betriebstemperaturen bis max. 300°C.

Ansprechgrenze bei Luftgeschwindigkeits-Messungen:
Anzeigegerät:

- Flüssigkeitsmanometer mit Alkoholfüllung,
- Neigung des Messrohrer: 1:25
- Skalenwert: 0.032 mm WS/Skt.
- Ansprechzeit: ca. 0.8 m/s
 $\cong h \sim 0.034 \text{ mm WS bei } \rho = 1.2 \text{ kg/m}^3$

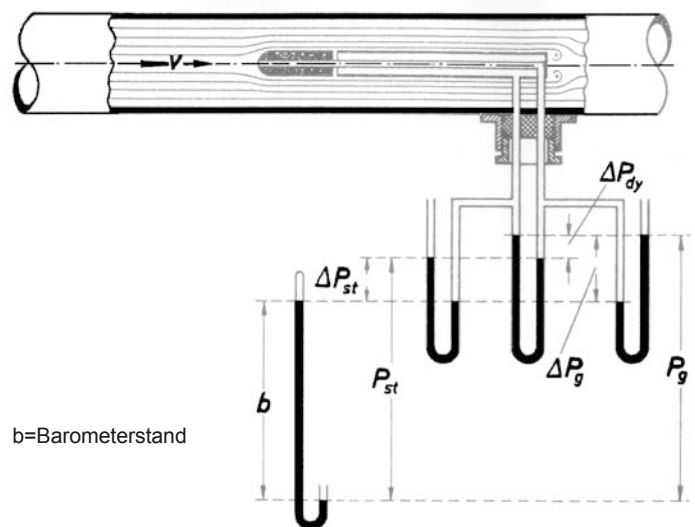
Kleinere Strömungsgeschwindigkeiten können u. a. mit Flügelrad-Anemometern, Thermischen Anemometern, Katathermometern oder mit Strömungssonden (Stauklappenanemometern) gemessen werden.

Physikalische Grundlagen

Die angeführten Formeln (1 bis 5) können ohne weiteres für Geschwindigkeiten bis 50 m/s (Fehler -0.38%), meist auch für Geschwindigkeiten bis zu 100 m/s (Fehler -1.1%) verwendet werden.

Bei höheren Geschwindigkeiten macht sich ein Kompressibilitätseinfluss bemerkbar, der nach Gleichung (1a) oder nach der in DIN 1945 angegebenen ausführlicheren Gleichung berücksichtigt werden kann. Gleichung (1a) ist bis zu 0.95 Mach mit 1% Genauigkeit gültig. Verdichtungsstöße, die etwa ab 0.8 Mach auftreten, stören die Gültigkeit dieser Gleichung nicht.

Bei strömenden Gasen sind folgende Druckgrößen zu unterscheiden:



b=Barometerstand

STATISCHER DRUCK... P_{st} : ist der innere Druck eines strömenden Gases oder der Druck, den ein parallel zur Rohrwand strömendes Gas auf diese ausübt. Durch eine geeignete Bohrung in der Rohr- oder Kanalwand bzw. durch den ringförmigen Schlitz eines Staurohres kann er als absoluter Druck P_{st} oder als Druckunterschied ΔP_{st} gegenüber der freien Atmosphäre gemessen werden.

GESAMTDRUCK... P_g : ist der Druck, der an der Spitze eines Staurohres, das aus einem glattwandigen vorn offenen Hohlzylinder besteht, gemessen wird. Er kann ebenfalls als absoluter Druck P_g oder als Druckunterschied ΔP_g gegenüber der freien Atmosphäre gemessen werden.

DYNAMISCHER DRUCK... ΔP_{dy} : auch als Stau- oder Geschwindigkeitsdruck bezeichnet, ist die größte Drucksteigerung, die in einem strömenden Gas vor dem Mittelpunkt eines Hindernisses auftritt. Er ist gleichbedeutend mit dem Druckunterschied, der zur Beschleunigung des Gases aus der Ruhe auf die betreffende Geschwindigkeit erforderlich ist. Seine Abhängigkeit von der Geschwindigkeit ergibt sich nach der Formel:

$$\text{Wenn } v < 100 \text{ m/s: } \Delta P_{dy} = \frac{v^2}{2} \cdot \rho \quad \left[\frac{N}{m^2} \right] \quad (1)$$

$$1 N = 1 \text{ kg m/s}^2$$

$$1 \frac{N}{m^2} = \frac{1}{9.80665} \text{ kp/m}^2 \approx 0.102 \text{ mm WS}$$

$$1 \text{ kp/m}^2 = 9.80665 \frac{N}{m^2} \approx 1 \text{ mm WS}$$

Wenn $v > 100$ m/s:

$$\Delta P_{dy} = \frac{v^2}{2} \cdot \rho \left(1 + \frac{1}{4} Ma^2 \right) \left[N/m^2 \right] \quad (1a)$$

ΔP_{dy} ... dynamischer Druck, Stau- oder Geschwindigkeitsdruck in N/m^2

v ... Strömungsgeschwindigkeit in m/s

ρ ... Dichte des Gases in kg/m^3

Ma ... $v/c =$ Machzahl

c ... Schallgeschwindigkeit = 343 m/s

Der dynamische Druck ΔP_{dy} wird insbesondere bei kleinen Geschwindigkeiten durch die Höhe einer Flüssigkeitssäule gemessen, der er das Gleichgewicht hält. Er soll deshalb im folgenden durch ein h gekennzeichnet werden. Mit für die Praxis ausreichender Genauigkeit ist:

$$h = \frac{1}{9.81} \cdot \frac{v^2}{2} \cdot \rho \left[mm \text{ WS o. } kp/m^2 \right] \quad (2)$$

Der dynamische Druck ist außerdem gleich der Differenz zwischen Gesamt- und statischem Druck, also

$$h = P_g - P_{st}$$

oder für den Druckunterschied gegen die freie Atmosphäre

$$h = \Delta P_g - \Delta P_{st}$$

Er kann deshalb unmittelbar gemessen werden, indem man die beiden am Prandtl'schen Staurohr auftretenden Drücke auf die Schenkel eines Differenzdruckmessers (z. B. eines U-Rohr-Manometers) überträgt. Die Strömungsgeschwindigkeit ist dann:

Wenn $v < 100$ m/s:

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot 9.81 \cdot h}{\rho}} \left[m/s \right] \quad (3)$$

Die Durchflussmenge kann aus dem gemessenen Staudruck h [mm WS] nach der Formel errechnet werden:

$$Q = F \cdot v = F \sqrt{\frac{2 \cdot 9.81 \cdot h}{\rho}} \left[m^3/s \right] \quad (4)$$

$$M = F \cdot v \cdot \rho = F \sqrt{2 \cdot 9.81 \cdot h \cdot \rho} \left[kg/s \right] \quad (5)$$

Q ... Durchflussmenge in m^3/s (Volumendurchfluss)

M ... Durchflussmenge in kg/s (Massendurchfluss)

F ... Strömungsquerschnitt an der Messstelle in m^2

v ... Strömungsgeschwindigkeit in m/s

h ... Dynamischer Druck in mm WS oder kp/m^2

ρ ... Dichte des Gases in kg/m^3

9.81 ... Umrechnungsfaktor, Einheit: $kg \text{ m/s}^2 \text{ kp}$

Bei stationärem Einsatz eines Staurohres und konstanter Gasdichte, d. h. gleichbleibender chemischer Zusammensetzung, Temperatur und nahezu konstantem Druck des Gases, können die Anzeigergeräte direkt in m/s bzw. unter zusätzlicher Berücksichtigung des Rohrquerschnittes an der Messstelle in m^3/s oder in die davon abgeleiteten Maßeinheiten geteilt werden. Die Bestimmung der Luftdichte ρ und der Geschwindigkeit v wird durch Tabellen erleichtert, die die jedem Gerät beigefügte Betriebsanleitung enthält.

STAUROHRE

Die Staurohre werden mit unterschiedlichen Stauöffnungen gefertigt. Die Wahl des richtigen Staurohres erfolgt mit Rücksicht zum einen auf den zur Verfügung stehenden Querschnitt an der Messstelle und zum anderen auf den Grad der Verunreinigung des betreffenden Gases. Staubhaltige oder feuchte Gase sowie lange Verbindungsleitungen zum Anzeigergerät erfordern ein Staurohr mit größerer Stauöffnung.

Als Verbindungsleitung zwischen Stau- und Anzeigergerät ist Gummischlauch oder Silikonkautschuk-Schlauch (beständig bis ca. $200^\circ C$, kurzzeitig bis $300^\circ C$) mit einem lichten Durchmesser von 5 mm und einem Außendurchmesser von ca. 8 mm zu verwenden.

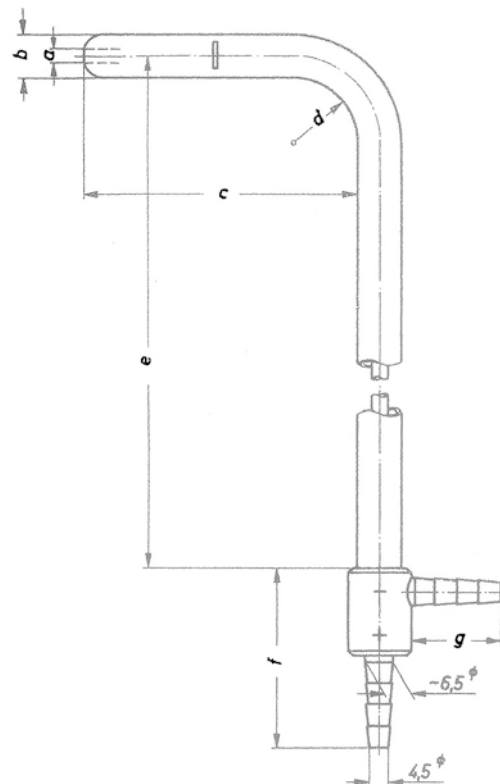
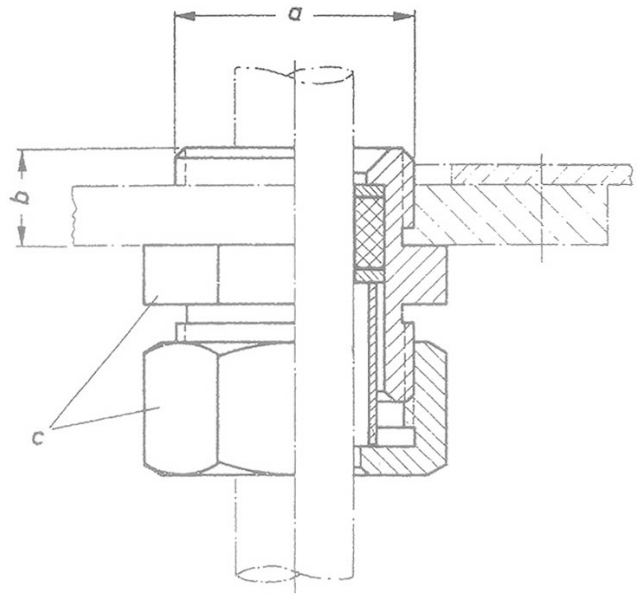


Tabelle 1

Varianten: Ident-Nr.	a Ø	b Ø	c mm	d mm	e mm	f mm	g mm	Gewicht g
00.06280.025 000 (628)	1	3	28	7.5	250	32	18	20
00.06300.025 000 (630)	3	10	65	15	250	42	22	130
00.06300.050 000 (630 a)	3	10	65	15	500	42	22	220
00.06300.075 000 (630 b)	3	10	65	15	750	42	22	290
00.06310.100 000 (631 c)	5	17	110	25	1000	44	22	680

- (628) Staurohr nach Prandtl, aus Messing, vernickelt, 1 mm Stauöffnung, Schaftlänge: 250 mm, mit Schlauchanschlussstüben, verwendbar bei Temperaturen bis 300°C; Maße und Gewicht siehe *Tabelle 1*.
- (630) Staurohr nach Prandtl, aus Messing, vernickelt, 3 mm Stauöffnung, Schaftlänge: 250 mm, mit Schlauchanschlussstüben, verwendbar bei Temperaturen bis 300°C
- (630a) Staurohr nach Prandtl, wie (630), jedoch Schaftlänge: 500 mm .
- (630b) Staurohr nach Prandtl, wie (630), jedoch Schaftlänge: 750 mm
- (631c) Staurohr nach Prandtl, aus Messing, vernickelt, 5 mm Stauöffnung, Schaftlänge: 1000 mm, mit Schlauchanschlussstüben, verwendbar bei Temperaturen bis 300°C



Maßzeichnung: Gewindestutzen

BEFESTIGUNGSSTUTZEN

Wenn Staurohre fest installiert werden sollen oder wenn das Strömungsprofil in einem Rohr genau vermessen werden muss, empfiehlt es sich, LAMBRECHT-Einbaugewindestutzen zu verwenden. Die auseinandergeschraubten Stützen lassen sich über die Spitze mit den Druckentnahmebohrungen auf die Staurohre aufschieben. Nachdem die Einzelteile über die Krümmung des Hakenrohres geschoben wurden, sind sie wieder zu verschrauben. Durch die beiden Gewindestücke wird dann das Staurohr geführt, während die Silikonkautschuk-Packung in Verbindung mit dem den Schlauchtüben zugewandten Gewindestück zum Festklemmen in der gewünschten Lage dient. In der -gelockerten- Stopfpackung sind die Staurohre verdrehbar und rechtwinklig zur Strömungsrichtung verschiebbar.

Unter Verwendung eines entsprechenden Zwischenstückes können die Einbaugewindestutzen auch an dünnwandigen Rohren befestigt werden (siehe Maßzeichnung rechts).

- (628 G) Einbaugewindestutzen für Staurohr (628), aus Messing, vernickelt, Stopfpackung Silikonkautschuk, verwendbar für Temperaturen bis 200°C; kurzzeitig bis 300°C; Maße und Gewicht siehe *Tabelle 2*.
- (630 G) Einbaugewindestutzen für Staurohre (630), (630 a), und (630 b), sonst wie (628 G).
- (631 G) Einbaugewindestutzen für Staurohr (631c), sonst wie (628 G).

Tabelle 2:

Zubehör für Staurohre zum festen Einbau* der Staurohre:

Ident-Nr.	Code	für	a mm	b mm	c mm	Gewicht g
00.06286.000 000	(628 G)	(628)	M12x1.5	6.5	SW 14	20 g
00.06306.000 000	(630 G)	(630)	M20x1.5	8	SW 22	50 g
00.06316.000 000	(631 G)	(631)	M30x1.5	12	SW 36	170 g

*Bei großer Eintauchtiefe (E > 500 mm) und bei hohen Strömungsgeschwindigkeiten geben die Einbaugewindestutzen mit ihrer relativ kurzen Führung dem Staurohr keine genügende Stabilität. In solchen Fällen muss das Staurohr zusätzlich abgestützt werden.

Zwischenstücke und Stützen sind den jeweiligen Einsatzbedingungen anzupassen. Sie sind nicht Bestandteil des Lieferprogrammes.