

Kalibrierung kleinster Drücke im Windkanal

Die heute üblichen Einrichtungen zur Darstellung kleiner Drücke beruhen auf dem Prinzip eines Kolbenmanometers oder einer Tauchglocke. Mit diesem Verfahren können kleine Drücke ab 1 Pa reproduzierbar dargestellt werden. Die Messunsicherheit beträgt +/- 0,3 Pa. Die PTB sucht seit einiger Zeit nach einem genaueren Verfahren zur Darstellung kleiner Drücke, um den Anforderungen der Industrie gerecht zu werden. Eine der wesentlichen Forderungen für Reinräume ist das der Überdruck zum Umgebungsdruck ca. 15 Pa beträgt. Um diese Druckwerte sicherzustellen sind genaueste Messgeräte erforderlich. Die verwendeten Messgeräte müssen regelmäßig im Einsatzbereich zwischen 1 und 20 Pa überprüft werden. Bei dieser Kalibrierung wird der angezeigte Wert des verwendeten Druckmessgerätes mit einem anderen, genaueren Druckmessgerät (Normal) verglichen. Da die Kalibrierung mit den bisherigen Kalibriermethoden aber eine Unsicherheit von 0,3 Pa mit sich bringen sind sie für die Kalibrierung der im Reinraum verwendeten Messgeräte nur bedingt geeignet. Mit einem neuen, patentierten Messverfahren kann Testo industrial services den Forderungen der ISO 14644 oder VDI 2083 gerecht werden. Diese Normen müssen in der produzierenden Industrie, z.B. Pharma, Biotechnologie und Elektrotechnik eingehalten werden und müssen bei Inbetriebnahme der Reinräume von den Herstellern erfüllt werden. Mit Hilfe dieses Kalibrierverfahrens ist eine Möglichkeit geschaffen Druckmessgeräte in einem Bereich kleiner als 20 Pa DKD zu kalibrieren da Druck ab 0,1 Pa reproduzierbar dargestellt werden kann. Zudem liegt die kleinste angebbare Messunsicherheit im Bereich kleiner 20 Pa mit +/- 0,02 Pa deutlich unter der der bisherigen Verfahren. Eine weitere Besonderheit dieses Verfahrens ist die Tatsache, dass mit abnehmendem Druck die Messunsicherheit abnimmt (s. Abb. ‚Vergleich der Verfahren‘). Dies ist bei keinem der bisher eingesetzten Verfahren der Fall.

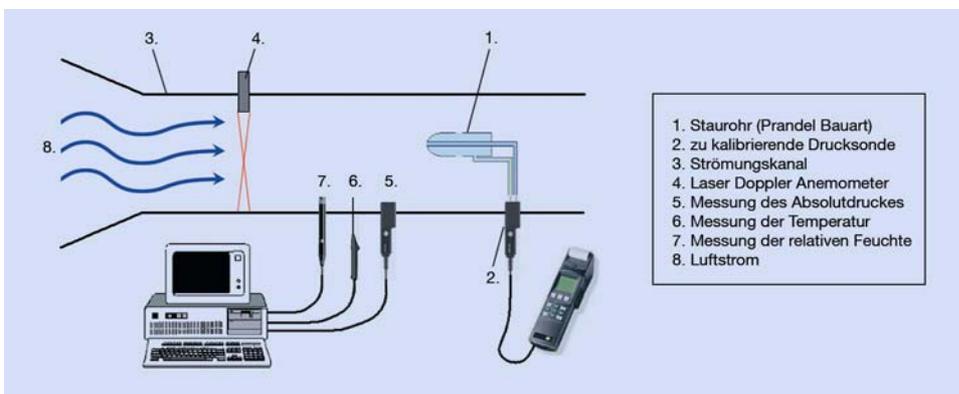


Kalibrierung Druck im Windkanal

Durchgeführt wird diese Kalibrierung im DKD-Labor für Strömungsgeschwindigkeit. Bei dem Verfahren wird ein Windkanal, der eine zeitliche und räumliche Stabilität aufweist und ein Staurohr (Prandl Bauart) eingesetzt. Zur Ermittlung der weiteren erforderlichen Messgrößen (Luftstromtemperatur, Luftstromfeuchte, Strömungsgeschwindigkeit und Absolutdruck) werden verschiedene Messinstrumente mit einer entsprechenden Genauigkeit eingesetzt (s. Abb. Messaufbau). Aus den erfassten Messwerten wird dann der Messwert für die Messgröße Überdruck ermittelt. Der zu messende Druck wird mit folgender Formel berechnet.

$$pe = \frac{\left(\frac{v}{S}\right)^2 * rho}{2}$$

pe : Überdruck
 S : Staurohrfaktor
 v : Strömungsgeschwindigkeit
 rho : Luftdichte



Messaufbau

Um den herrschenden Überdruck mit dieser Formel errechnen zu können müssen die Messgrößen Strömungsgeschwindigkeit und Luftdichte, so wie der Staurohrfaktor bekannt sein.

Der mit Hilfe des Staurohr erfasste Überdruck steigt mit zunehmender Strömungsgeschwindigkeit im Kanal. Die Messgröße Strömungsgeschwindigkeit wird mit Hilfe des Laser-Doppler-Anemometer erfasst. Luftdichte und Staurohrfaktor werden folgendermaßen bestimmt:

Die Luftdichte ist definiert als Luftmasse pro Volumen und wird in kg/m³ angegeben. Sie ist von der Temperatur, der relativen Feuchte und dem Absolutdruck abhängig. Aus der zuvor dargestellten Formel ist ersichtlich, dass der erzeugte Staudruck stark von der Luftdichte abhängig ist. Aus diesem Grund werden alle Einflussgrößen erfasst. Mit diesen erfassten Werten (Temperatur, relative Luftfeuchtigkeit und Absolutdruck) wird die Luftdichte nach folgender Formel berechnet.

$$\rho = \frac{P_{abs}}{287 * (273.15 + t)} * \left(1 - \left(0.377 * \frac{rF}{100} * \frac{6.1078 * \exp\left(\frac{17.08085 * t}{234.175 + t}\right) * 100}{P_{abs}} \right) \right)$$

ρ : Luftdichte
 P_{abs} : Luftdruck Umgebung
 rF : relative Luftfeuchte
 t : Temperatur im Kanal

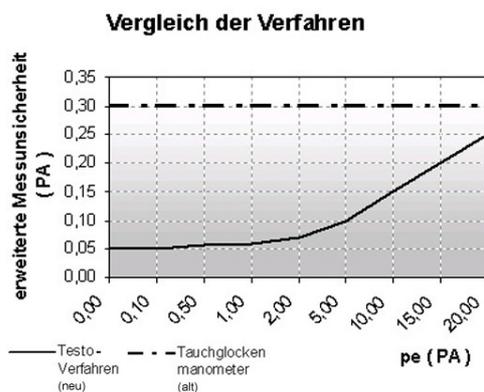
Um den genauen Faktor des Staurohres zu kennen muss dieser einmalig bestimmt werden. Der Bestimmung des Staurohrfaktors geht eine genaue Bestimmung der Luftdichte voraus. Strömungsgeschwindigkeit und Überdruck werden mit entsprechenden Messgeräten (Laser- Doppler- Anemometer, Präzisionsdifferenzdruckmessgerät) erfasst. Der Staurohrfaktor wird dann mit folgender Formel berechnet:

$$S = \frac{v}{\sqrt{\frac{2 * p_e}{\rho}}}$$

S : Staurohrfaktor
 v : Strömungsgeschwindigkeit
 p_e : Überdruck
 ρ : Luftdichte

Der Strömungskanal der Fa. Testo industrial services GmbH ist akkreditiert für Strömungsgeschwindigkeit von $v = 0,1$ m/s bis $v = 50$ m/s.

Die Strömungsgeschwindigkeit $v = 0,1$ m/s entspricht einem theoretische Staudruck von 0,005 Pa. Dieser Druck ist jedoch nicht messbar. Mit dem neuen Kalibrierverfahren kann Druck ab ca. 0,1 Pa reproduzierbar dargestellt werden. Die Abbildung ‚Vergleich der Verfahren‘ verdeutlicht den Unterschied hinsichtlich der Messunsicherheit zu bisherigen Verfahren.



Vergleich der Verfahren

Autoren: Dipl. Phys. Eugen Sander
 Falko Harich