

Entwicklung und Konstruktion eines pneumatischen Meßsystems zur Serienkontrolle

Heinen, F.

Im Rahmen eines niedersächsischen Verbundforschungsvorhabens wird am Institut für Maschinenwesen ein pneumatisches Meßsystem entwickelt. Die Verfahrensweise des pneumatischen Messens bietet viele Vorteile gegenüber konventioneller Meßtechnik. So arbeitet das Verfahren berührungslos und kann aus diesem Grund unkritischerweise auch verformungsempfindliche Stoffe vermessen. Durch die während des Meßvorgangs benötigte "Meßluft" wird gleichzeitig eine Reinigung des Meßobjektes erzielt. Diese prozeßbedingte Arbeitsweise macht den Einsatz in verschmutzten Umgebungen möglich. Desweiteren kann durch den Gebrauch vieler Meßdüsen das Meßobjekt gleichzeitig hinsichtlich sämtlicher geforderter geometrischer Charakteristika überprüft werden, das Meßsystem kann somit eine sehr hohe Geschwindigkeit vorweisen und eignet sich aus diesem Grund hervorragend für die Serienkontrolle.

The Institute for Mechanical Engineering is developing a pneumatic measuring system within a research cooperation project with the state of Niedersachsen. In comparison to conventional measuring methods, this kind of measuring system has many advantages. It works without touching the object to be measured. Therefore, also ductile materials can be measured. Also, parallel to measuring the object, the produced air is used to clean the object. Thus, this system can be used without problems in shop floor areas. In addition, the fact that a high number of measuring jets are used to measure the object from every side at the same time, makes the system work at a high speed and for that reason makes it ideal for series fabrication control.

1 Funktionweise pneumatisches Messen

Das pneumatische Messen stellt ein berührungsloses Meßverfahren dar. Es können Werkstoffe, bei denen berührende Meßverfahren Eindrücke hinterlassen, bspw. Schaumstoff oder Styropor-Teile, beschädigt

ungsfrei und fehlerunkritisch vermessen werden. Das Meßmedium ist Druckluft bzw. turbulente Luft. Der übliche Arbeitsdruck des pneumatischen Meßsystems liegt bei 1 bar Überdruck. Während des Meßvorgangs werden Meßdüsen und Meßobjekt stetig durch die ausströmende „Meßluft“ von Schmutz gereinigt. Hierdurch haben Verunreinigungen, sofern sie sich mittels Druckluft ablösen lassen, keinerlei Einfluß auf die Meßgenauigkeit.

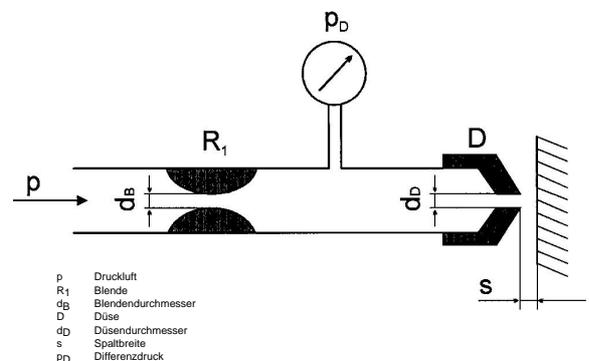


Bild 1: Prinzip der Staudruckmessung

Die Funktionsweise des Meßverfahrens beruht auf dem Staudruckprinzip (**Bild 1**). Wird der Abstand s zwischen Düse und Werkstückoberfläche vergrößert, nimmt der Staudruck ab, wird er verringert, nimmt der Staudruck zu. Durch die Verwendung der Blende R_1 wird die Möglichkeit geschaffen, diese Veränderung als Differenzdruck p_D , z.B. bei einfachster Anwendung mittels eines Flüssigkeitsmanometers, zu messen.

Die Abhängigkeit zwischen der Spaltbreite bzw. dem Meßbereich s und dem Differenzdruck p_D ist in **Bild 2** skizziert. Mittels der Blende wird der Meßbereich eingestellt. Wird der Blendendurchmesser d_B verkleinert, verkleinert sich gleichzeitig der Meßbereich, d.h. der zur Verfügung stehende Spalt s wird schmaler; durch diese Maßnahme erhöht sich jedoch die Auflösung des Meßsystems, die Meßgenauigkeit nimmt somit zu. Wird ein Blendendurchmesser gewählt, der dem der Meßdüse d_D entspricht, kann zwar der Meßbereich des Systems vergrößert werden, die Genauigkeit nimmt aber ab. Technisch günstig erscheint ein Blendendurchmesser von $d_B = 0,7$ mm bei einem

Meßdüsendurchmesser von $d_D = 1 \text{ mm}$ (**Bild 2**), da hier eine sehr hohe Meßgenauigkeit bei einer technisch sinnvollen Spaltbreite bzw. einem technisch sinnvollen Meßbereich gegeben ist.

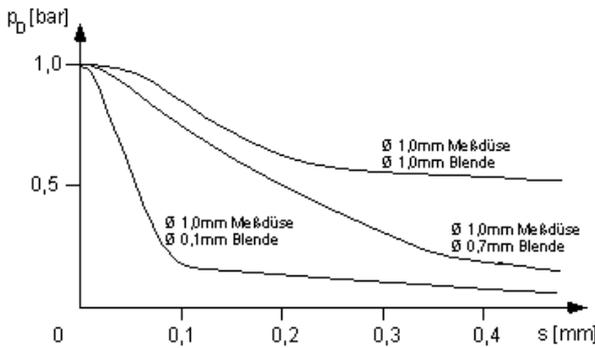


Bild 2: Differenzdruck p_D über Spaltbreite bzw. Meßbereich s bei normaler Meßdüse

Zur Vermeidung von Meßungenauigkeiten, die z.B. durch Schwankungen im Druckluftnetz verursacht werden können, bietet sich eine Verbindung mehrerer Düsen nach dem Prinzip einer Wheatstone'schen Brückenschaltung in der Elektrotechnik an (**Bild 3**).

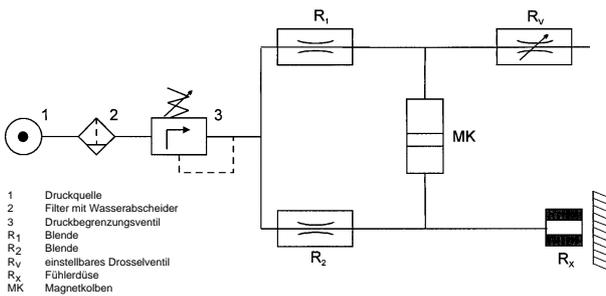


Bild 3: Aufbau einer pneumatischen Meßeinheit mittels Brückenschaltung

Die Blenden R_1 , R_2 , die Einstelldüse R_V sowie die Fühlerdüse R_X bilden hierbei die Strömungswiderstände. Die Rolle des Galvanometers in der elektrischen Ausführung übernimmt ein Zylinder mit einem magnetisierten Kolben. Auch hier wird wieder das Prinzip des Staudrucks verwendet. Je nach Abstand der Meßdüse R_X von der zu vermessenden Werkstückoberfläche ändert sich der Druck in diesem Zweig des Meßsystems. Mit Hilfe der Einstelldüse R_V kann der Gegendruck im anderen Zweig auf einen bestimmten Wert so eingestellt werden, daß sich der Kolben in der Mitte des Zylinders befindet. Verändert man nun die Entfernung der Meßdüse vom Werkstück, bewegt sich der Kolben in eine andere Position. Über drei Ruhe-Reedkontakte kann diese Position bestimmt werden. Schaltet einer dieser Kontakte, wird ein elektrisches Signal erzeugt, welches einer der Aussagen „zu klein“, „in Ordnung“ oder „zu groß“

entspricht. Diese Aussage wird auf das sogenannte Masterteil bezogen, welches zu Beginn der Messung zwecks Abgleich der Brücke in die Meßeinrichtung eingelegt werden muß.

Für den Fall, daß man eine qualitative Aussage über die tatsächlichen Maße des Werkstückes erhalten möchte, kann die Aufgabe des Magnetkolbens durch einen Piezokristall übernommen werden. Die Druckeinwirkung auf einen solchen Kristall führt zum Auftreten von elektrischer Ladung an der Oberfläche, die der Stärke der einwirkenden Kraft und damit des Druckes proportional ist. Mit Hilfe eines Meßverstärkers kann dieses elektrische Signal verstärkt und in eine Maßabweichung umgerechnet werden. Auch bei dieser Anordnung ist ein Abgleich mittels eines Masterteils notwendig.

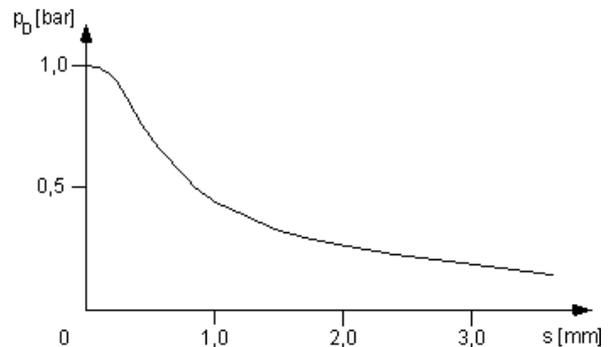


Bild 4: Differenzdruck p_D über Spaltbreite bzw. Meßbereich s bei Kegeldüse

Die bisher behandelten Düsen waren herkömmlicher Bauweise und ließen nur einen Meßbereich von 0,03 bis 0,4 mm zu. Bei diesem Düsentyp strömt die Luft aus einer zentralen Bohrung mit einem bestimmten Durchmesser auf die Werkstückoberfläche. Um einen größeren Meßbereich zu erhalten, wird die sogenannte Kegeldüse eingesetzt, die bei Spaltbreiten von 0,1 bis 3,5 mm eine Auflösung von $10 \mu\text{m}$ liefert (**Bild 4**).

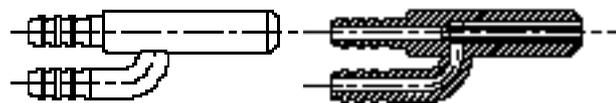


Bild 5: Kegeldüse

Eine solche Düse ist in **Bild 5** dargestellt. In der Mitte befindet sich wie gehabt der punktförmige Meßstrahl, dessen Staudruckänderungen registriert und ausgewertet werden. Um diese Düse herum befindet sich ein Ring, aus dem ebenfalls Druckluft ausströmt. Hierdurch wird vor der Düsen spitze ein Luftkegel erzeugt, der den zentralen Luftstrahl umschließt. Nähert man nun einer solchen Düse eine Prallfläche,

so wird der Luftkegel in Richtung Düsenspitze verschoben, wodurch sich der Staudruck im zentralen Meßstrahl ändert. Der Ringstrahl dient also als „Hebelsystem“ für den eigentlichen Meßstrahl, der Meßbereich läßt sich dadurch um den Faktor 10 gegenüber der normalen Düse vergrößern.

2 Entwicklung der Meßsystemeinheit

Der erste Schritt in der Entwicklung des pneumatischen Meßsystems stellte eine Funktionsanalyse dar. Die hier gefundenen Funktionen wurden mittels konstruktionsmorphologischer Methoden bearbeitet, um möglichst viele Lösungsvarianten für die jeweilige Funktion zu erhalten. Mit Hilfe der Kesselringmethode wurden die Lösungsvarianten bzgl. der zu vermessenden Objekte bewertet und die beste Variante schließlich konstruktiv ausgeführt.

Bei der ausgewählten Lösungsvariante wird das Meßobjekt in eine nach drei Seiten offene Box gestellt und dort geklemmt (**Bild 6**). Eine vom Aufbau her gleiche, allerdings spiegelsymmetrische Box steht der ersten gegenüber. Die erste Box, in welcher das Meßobjekt steht, kann mittels Linearführungen und pneumatisch doppelwirksamem Kolben mit Endlagendämpfung so an die zweite Box herangefahren werden, daß beide dreiseitigen Boxen eine gemeinsame geschlossene Box bilden. Mittels eines weiteren doppelwirksa-

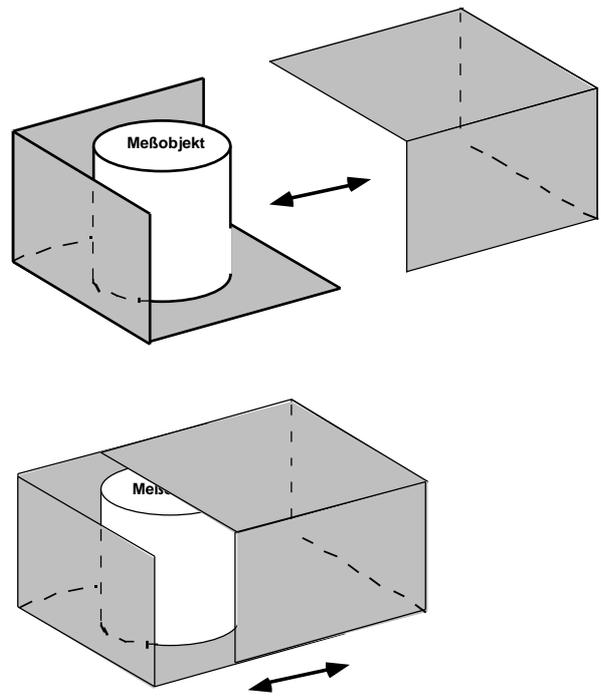


Bild 6: Schematische Darstellung der "Meßbox"

men Kolbens wird ein an der Spitze konischer Paßstift in ein im Boden der eingefahrenen Meßbox befindliches Passungsloch durch ein an der stationären Box befestigtes U-Profil hindurch eingeschoben. Auf diese Weise werden die beiden dreiseitigen Boxen über die Linearführungen der einen Box zunächst über den Konus des Paßstiftes in Position gezogen und dann fixiert. Da das Meßsystem vor der Messung abgeglichen werden muß, ist die absolute Lage der

Passungseinheit Stift / Bohrung unwichtig. Wichtig ist hingegen, daß die Konstruktion ausreichend steif ausgeführt wird, damit sich die relative Lage der Passungseinheit Stift / Bohrung während der Messungen nicht verändern kann. Die eigentliche Messung erfolgt über die in allen sechs Seiten der Meßbox eingebauten Meßsensoren und dauert nur wenige Sekunden. Das Meßobjekt wird gleichzeitig von sämtlichen Seiten vermessen.

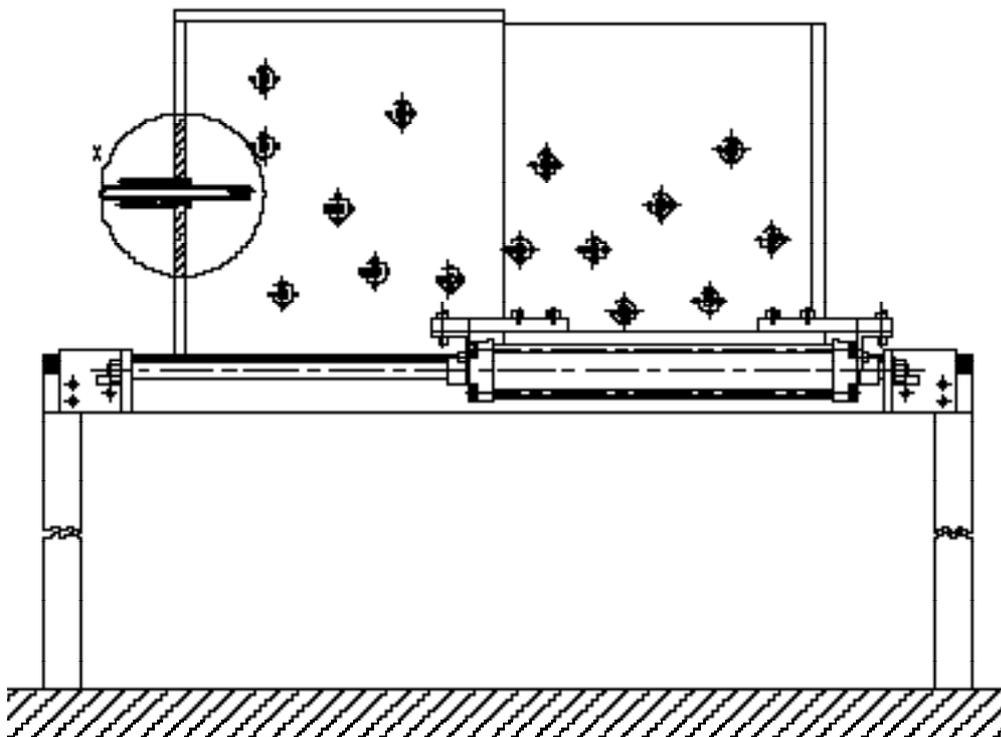


Bild 7: Meßsystem auf Meßtisch mit Einzelheit X

3 Konstruktive Einzellösungen

Im folgenden sollen exemplarisch einige konstruktive Einzellösungen der Meßsystemeinheit vorgestellt werden.

In **Bild 7** ist das installierte Meßsystem auf dem Meßtisch als Seitenansicht zu sehen. Man erkennt die in Absatz 2 erläuterten dreiseitigen Boxen.

Desweiteren sieht man die Linearführungen und den doppelwirkenden pneumatischen Verfahrkolben. Einheiten wie bspw. die Schlittenfixiereinheit liegen im Inneren des Tisches und können in dieser Ansicht nicht betrachtet werden. Die Einzelheit X zeigt eine Meßdüseneinheit, die in **Bild 8** vergrößert dargestellt ist.

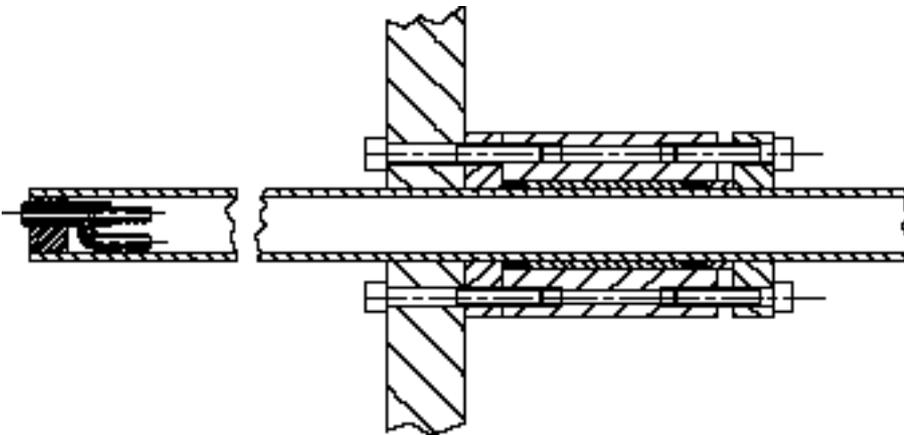


Bild 8: Meßdüsenhalterung und Fixierbuchse (Einzelheit X aus **Bild 7**)

Die oben dargestellte Meßdüseneinheit wurde so konstruiert, daß sie bei kostengünstiger Herstellung (Standard- und Gleichteile) gleichzeitig leicht und schnell auf neue Meßaufgaben einzurichten ist.

Zur Erläuterung dieser Einheit: Die Kegelmeßdüse sitzt in der Düsenfixierbuchse (**Bild 9**), die wiederum in einem Präzisionsrohr sitzt. Die Kegelmeßdüse wird in die Buchse eingeschoben und mittels einer Stiftschraube nach DIN 914 geklemmt. Mit Hilfe einer weiteren Stiftschraube, die in einem der Zeichnung zu entnehmenden Raumwinkel in die Buchse eingeschraubt wird, wird die Einheit im Präzisionsrohr geklemmt.

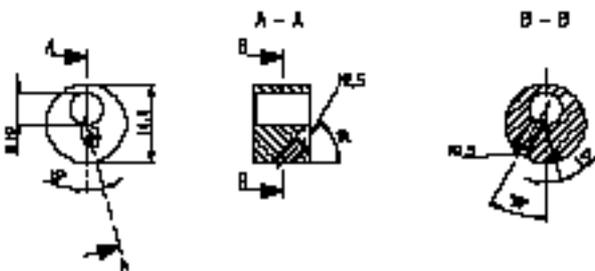


Bild 9: Düsenfixierbuchse

Das Präzisionsrohr steckt in einer Spannaufnahme, die an einer Wand der Meßbox mittels vier Schrauben befestigt wird. Es wird in dieser Aufnahme durch zwei Ringfederspannelemente sicher geklemmt. Bei gelöster Klemmung kann das Rohr an das Meßobjekt herangeschoben werden. Hierzu steckt man zunächst eine Kunststoffkappe auf das Rohr, führt es bis auf Kontakt an das Meßobjekt heran und fixiert es dann mittels der Spanneinheit durch Anziehen der vier Klemmschrauben. Die Ringfederspannelemente wurden so eingebaut, daß durch das Anziehen die Position erhalten bleibt, d.h. das Anziehen bewirkt kein Verschieben der Düseneinheit. Diesen Vorgang wiederholt man mit sämtlichen in der Box befindlichen Düseneinheiten. Hiernach fährt man die Meßbox vor-

sichtig auf und zieht die Kunststoffkappe vom Rohr ab. Durch diese Einrichtweise hat die Kegelmeßdüse ca. 2 mm Abstand vom Meßobjekt, was meßtechnischen Idealabstand darstellt. Nach Abgleichung mittels Masterteil kann die Messung beginnen. Durch mehrere solcher Düsen und die entsprechende Software können geometrische Charakteristika aufgenommen und ausgewertet werden.

Es empfiehlt sich, das Meßsystem nach jedem Einschalten zunächst mittels Masterteil abzugleichen bzw. bei extremen Werkstattbedingungen (starken Temperaturschwankungen, starken Erschütterungen ect.) nach einer bestimmten Anzahl von Messungen abzugleichen.

Trotzdem muß an dieser Stelle nochmals betont werden, daß dieses System auch unter meßtechnisch schwierigen Bedingungen problemlos eingesetzt werden kann.

Literatur

/1/ Heinen, F.: Verbundvorhaben Lost Foam Gießen, Zwischenbericht 8/1996 des Teilvorhabens Meßsystem/Vermessung

/2/ Mietzel, G.: Problems and Solutions, Firmenschrift MAWOMATIC GmbH, Arnsberg 1991

/3/ Stork, M.: Studienarbeit, Konstruktion eines pneumatischen Meßsystems, Clausthal 1996 in Arbeit