

Messung 5

Druckmessung

1. Einführung, Ziel der Messung

- Übersicht der Druckmeßgeräte;
- Druckmessung mit U-Rohrmanometer und Bourdon-Rohrmanometer, Bestimmung der Drucke in zwei verschiedenen Punkten eines Rohres (p_n und p_s);
- Volumenstrommessung mit Wägung und mit Meßblende;
- Kalibrierung eines Bourdon-Rohrmanometers

2. Druckmeßgeräte

2.1. Flüssigkeitsmanometer

Die einfachsten Druckmeßgeräte sind die U-Rohrmanometer.

In Bild 1 sind drei U-Rohrmanometer zu sehen, die an verschiedenen Punkten einer Wasserrohrleitung angeschlossen sind. Die Meßflüssigkeit ist Quecksilber oder eine andere Flüssigkeit mit anderer Dichte, die in unbelastetem Zustand gemäß dem Gesetz der kommunizierenden Gefäße in beiden Schenkeln gleich hoch steht. Der Anwendungsbereich der U-Rohrmanometer ist einerseits durch die mit der gemessenen Druckdifferenz proportional steigenden Längenabmessungen, andererseits durch die Festigkeit des gewöhnlichen Glases (ca. 250 kPa) begrenzt. Zur Ablesung der Niveaudifferenz werden Skalen mit Millimeter-Strichen aus Holz, Metall oder Glas verwendet. Sie wird in der horizontalen Tangentenebene des Meniskus (der gebogenen Ebene der Flüssigkeit) in der Höhe des Niveaus abgelesen (Bild2). Die Ablesung in horizontaler Ebene kann durch einen Spiegel hinter dem Glasrohr erleichtert werden.



Bild 1

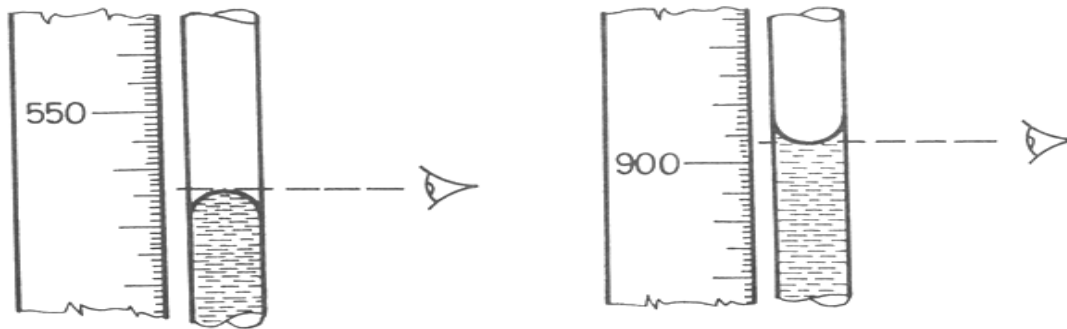


Bild 2



Bild 3

Bei Anwendung von Flüssigkeitsmanometern sollen wir dafür sorgen, daß die Verbindungsschläuche des Manometers mit dem gewünschten Druckvermittlungsmedium gefüllt werden. In den meisten Fällen ist dies das gleiche Medium, dessen Druck wir messen. Das System kann mit diesem Vermittlungsmedium durch einen Entlüftungshahn, bzw. ein Ventil (Bild 7: L) im höchsten Punkt des Schlauches aufgefüllt werden. Das Entlüften führen wir bei kleinem Überdruck aus, es dauert solange, bis das Vermittlungsmedium – im Falle einer Flüssigkeit blasenfrei – ausströmt.

2.2. Federmanometer

Unter bestimmten Betriebsverhältnissen werden unmittelbar ablesbare Instrumente mit einem Zifferblatt verwendet.

Das Bourdon-Rohrmanometer (Bilder 3, 4) ist eine Rohrfeder, die an einem Ende geschlossen und am anderen Ende dem Druckraum angeschlossen ist, deren Krümmung unter Wirkung eines inneren Unterdrucks größer, d.h. der Krümmungsradius kleiner wird. Dieses Gerät ist sowohl zur Messung von positivem Überdruck als auch von Vakuum geeignet. Im ersten Fall wird das Zifferblatt als bar-Überdruck und im zwei-

ten Fall als mit dem negativen Überdruck proportionaler %-Wert gezeichnet. Die Verschiebung des Rohrfeder-Endes kann gemäß Bild 4 zur Achse der Anzeige vermittelt werden.

Die Metallmanometer sollen vor dem Einsatz regelmäßig kalibriert werden. (Das Wort Eichung wird der ähnlichen Tätigkeit der Behörde vorbehalten)

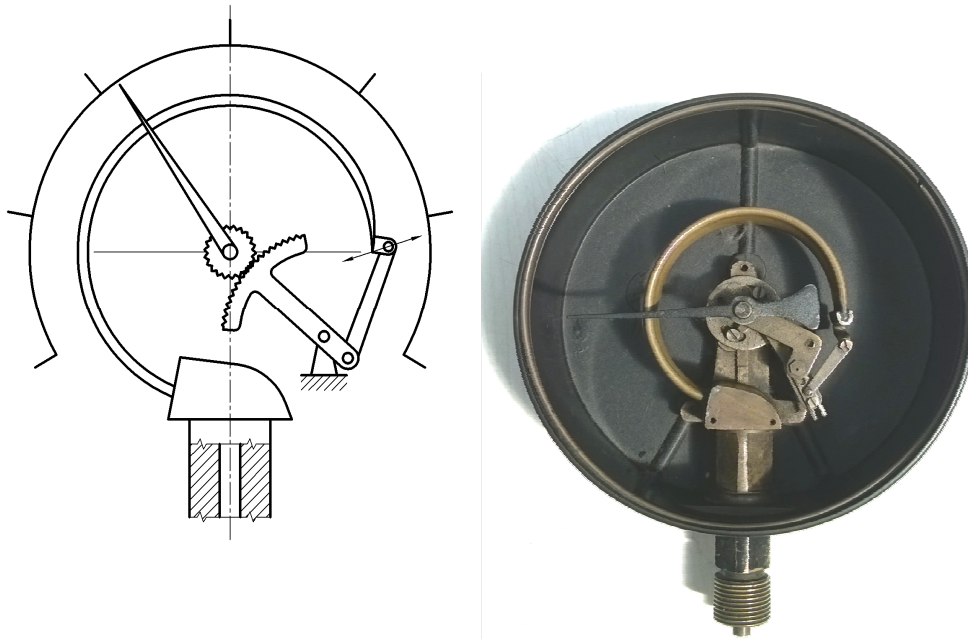


Bild 4

Zur Kalibrierung wird die in Bild 5 gezeigte Anlage verwendet. Der in einem mit Öl gefüllten Zylinder eintauchende Kolben wird mit bekannten Kräften belastet, so können bekannte Drücke in einem geschlossenen Raum erzeugt werden.

Das Manometer wird mit bekannten Drücken belastet, und die Werte werden gleichzeitig abgelesen. Das Ergebnis der Kalibrierung ist das in Bild 6 dargestellte Kalibrierdiagramm. Im idealen Fall ist dies – mit gleichen Maßstäben auf der Abszisse und Ordinate – eine Gerade mit der Steigung von 45° .

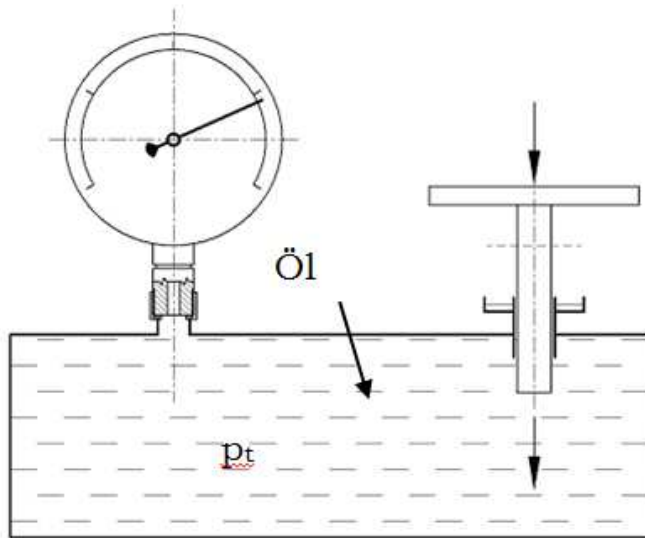


Bild 5

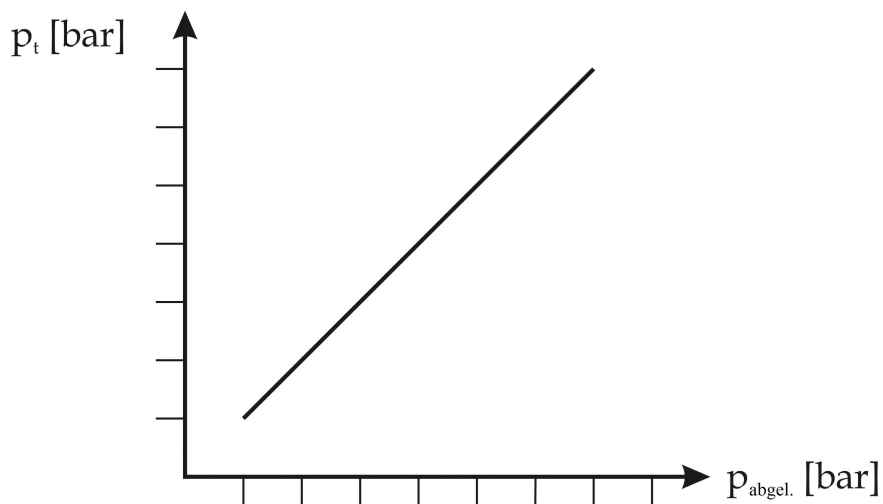


Bild 6

Unter idealem Fall versteht man, daß sich die Rohrfeder in dem Büchsenmanometer genauso verhält, wie während der Anfertigung der Skaleneinteilung. Die Federkonstante der Rohrfeder ändert sich aber mit der Zeit, deshalb sollen wir mit einem sog. systematischen Fehler rechnen. Der Grund für den systematischen Fehler ist der ständige Fehler des Instruments oder der Skala, der sich mit steigender Anzahl der Messungen nicht beseitigen läßt. Der Zweck der Zusammenstellung des Kalibrierdiagramms ist also die Feststellung des systematischen Fehlers.

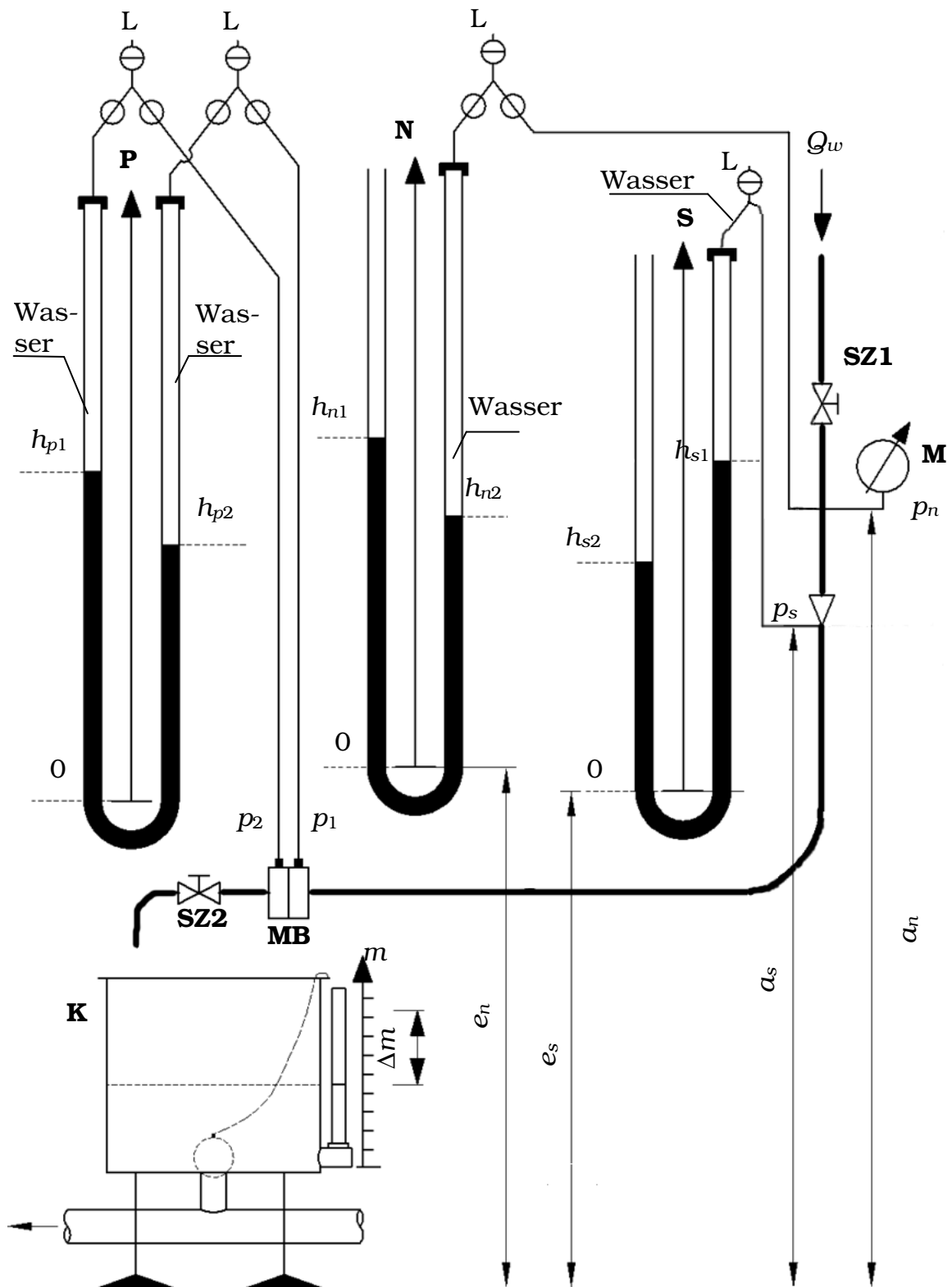


Bild 7

3. Meßaufgaben

3.1 Druckmessungen mit U-Rohrmanometer und Bourdon-Rohrmanometer

3.2 Messung des Volumenstroms

3.3 Kalibrierung eines Bourdon-Rohrmanometers

3.1. Druckmessungen mit U-Rohrmanometer und Bourdon-Rohrmanometer

Die **erste Aufgabe** besteht in der Bestimmung der Drücke p_n und p_s in den in der Skizze bezeichneten Punkten der Rohrleitung. Q_w ist der Volumenstrom in der in Bild 7 gezeigten Anlage. Zur Bestimmung der Drücke dienen die Quecksilber-U-Rohrmanometer N, bzw. S., der Überdruck p_n wird auch auf dem Bourdon-Manometer M angezeigt. Q_w soll sowohl durch Wägung als auch mit Hilfe der eingebauten Meßblende bestimmt werden. Auch die an der Meßblende meßbare Druckdifferenz soll berechnet werden. Die Wassermenge ergibt sich auch aus dem Ausschlag des Manometers P.

Zur Regelung von Q_w , – für jeden Studenten wird ein neuer Meßzustand eingestellt, – dient das Ventil SZ1. Der Druck p_n ist gemäß dem Widerstand der Rohrstrecke bis zum Ausfluß höher als der Luftdruck. So wird also ein positiver Überdruck gemessen. Der Druck p_s ist kleiner als der Luftdruck, da hier eine Düse eingebaut wurde, aus der die Flüssigkeit mit einer größeren Geschwindigkeit ausfließt und dies eine lokale Druckverminderung zur Folge hat. Hier messen wir also einen negativen Überdruck (Vakuum). Die Rolle der Meßblende MB und des Meßbehälters K wurde bereits erklärt. Durch mildes Schließen des Ventils SZ2 kann der Zustand erreicht werden, in dem auch der Druck p_s größer als der Luftdruck ist. Dieses Ventil sorgt also für die Entlüftung aller vier Zuführleitungen. Es soll aber während der Messungen offen gehalten werden.

Bei der Auswertung benötigen wir den Wert des Luftdrucks (p_0), was wir von einem digitalen Barometer (in *mbar*) ablesen können. Den in (Pa) umgerechneten Luftdruck, sowie die an Ort und Stelle zu messenden Höhen a_n , a_s , e_n , e_s geben wir als "einmal gemessene Größen" an. Die Dichte vom Wasser und Quecksilber können wir als gegeben betrachten: $\rho_w = 1000\text{kg/m}^3$; $\rho_{\text{Hg}}=13\ 600\ \text{kg/m}^3$.

Danach können wir die Gleichungen des Gleichgewichts der Manometer aufschreiben aus denen die gesuchten Absolutdrücke p_n und p_s bestimmt werden. (Aus diesen Werten und aus dem abgelesenen atmosphärischen Luftdruck können wir die Überdrücke ausrechnen.)

Gleichung des Manometers N ist wie folgt:

$$p_0 + (h_{n1} - h_{n2})\rho_{Hg}g = p_n + [a_n - (e_n + h_{n2})]\rho_w g \quad \Rightarrow p_n = \dots$$

Gleichung des Manometers S ist wie folgt:

$$p_0 = p_s - (e_s + h_{s1} - a_s)\rho_w g + (h_{s1} - h_{s2})\rho_{Hg}g \quad \Rightarrow p_s = \dots$$

Index 1 weist immer auf die größere und Index 2 auf die kleinere Höhe hin.

Auf den Manometern lesen wir die Werte in mm ab (Bild7), bei der numerischen Lösung der Gleichungen sollen wir aber mit Werten in m rechnen.

Die Ausgangsdaten und die Ergebnisse sollen auch in Tabellen eingetragen werden. p_{nM} ist der vom Bourdon-Rohrmanometer unmittelbar abgelesene Überdruck.

Bestimmung des Drucks p_n

Einmal gemessene Daten: $a_n =$ $e_n =$

$p_0 =$ mbar= Pa

h_{n1}	h_{n2}	$h_{n1} - h_{n2}$	p_{nM}	p_n Absolutdruck		p_n Überdruck	
[mm]	[mm]	[m]	[bar]	[Pa]	[bar]	[Pa]	[bar]

Bestimmung des Drucks p_s

Einmal gemessene Daten: $a_s =$ $e_s =$

h_{s1}	h_{s2}	$h_{s1} - h_{s2}$	p_s Absolutdruck		p_s Überdruck	
[mm]	[mm]	[m]	[Pa]	[bar]	[Pa]	[bar]

3.2 Messung des Volumenstroms

Es gibt zwei Möglichkeiten zur Messung des Volumenstroms (Flüssigkeitsvolumen, das durch einen beliebigen Querschnitt der im Bild 7 fett gezeichneten Rohrleitung je Zeiteinheit fließt) – **zweite Aufgabe**. In die horizontale Rohrleitung wurde eine Meßblende eingebaut, danach fließt die Flüssigkeit in einen Meßbehälter aus.

Die Meßblende ist eine Verengung gemäß Bild 8. Die Flüssigkeit strömt in der Verengung mit einer erhöhten Geschwindigkeit, deshalb nimmt ihr Druck ab. Zwischen den Druckwerten an den Druckentnahmestellen vor und nach der Meßblende entsteht eine gut meßbare Differenz. Die während einer Zeiteinheit durchfließende Flüssigkeitsmenge ist der Quadratwurzel dieser Druckdifferenz proportional. Zur Bestimmung der Proportionalitätskonstante dient ein normiertes Verfahren (MSZ 1709).

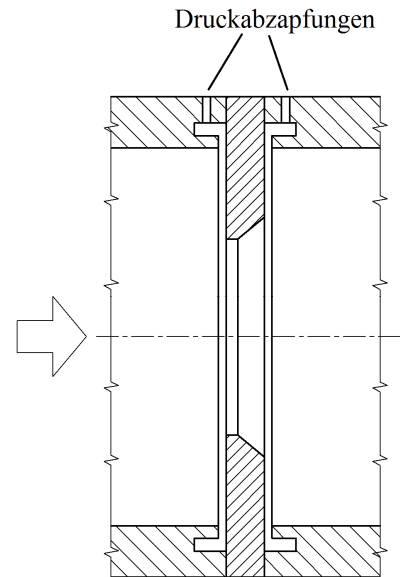
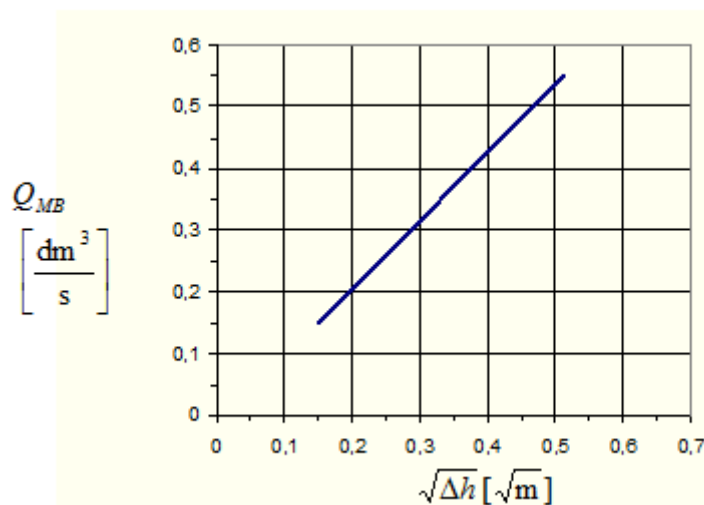


Bild 8

In Bild 9 ist das Diagramm der in Bild 7 mit MB bezeichneten Meßblende zu sehen. Auf der Abszisse ist nicht die Druckdifferenz sondern die Quadratwurzel der dieser proportionalen, am Manometer P ablesbaren Niveaudifferenz (in m) dargestellt, dadurch ergibt sich der Wert des Wasserstroms unmittelbar nach Ablesen des Manometers.



$$Q_{MB} [dm^3/s] = 1,11 \sqrt{\Delta h} [\sqrt{m}] - 0,0186$$

Bild 9

Die Wägung kann nur in dem Fall angewandt werden, wenn das System offen oder zu unterbrechen ist. In einem Behälter mit bekanntem Querschnitt (Bild7:K) wird die Zeit einer beliebigen Niveauerhöhung gemessen. Wir beobachten die Niveau-Steigung in einem Glasrohr, das dem Behälter angeschlossen ist und gemäß dem Gesetz der kommunizierenden Gefäße funktioniert. Zu dem Glasrohr wird eine Skala gestellt und die Zeit wird mit einer Stoppuhr gemessen. Der Flüssigkeitsstrom ist

$$Q_{\text{Wägung}} = \alpha \frac{\Delta m}{\Delta t} \left[\frac{\text{dm}^3}{\text{s}} \right],$$

wobei α [dm³/mm] Behälterkonstante, das Volumen des Behältersegments mit der Höhe von 1 mm,
 Δm [mm] die gemessene Niveau-Steigung,
 Δt [s] die Zeit der Niveau-Steigung bedeutet.

Bestimmen wir den Wasserstrom mit Hilfe der Meßblende, d.h. unter Anwendung des Manometers P und mit Kalibriergerade im Bild.9! Wir messen diesen Wasserstrom auch mit dem Meßbehälter K (Bild 7). Während der Wägung sollen wir gleichzeitig die Niveauerhöhung beobachten und die Stoppuhr betätigen, deshalb ist es zweckmäßig, die Uhr bei runden Niveauwerten zu starten bzw. zu stoppen. Um die Zufallsfehler zu vermeiden, sollen wir möglichst unter 30 Sekunden keine Messung durchführen. (Man soll die Zeit der Erhöhung von $\Delta m=100$ mm messen!)

Für die Bestimmung von Q werden wir diese Tabelle ausfüllen:

h_{p1}	h_{p2}	$h_{p1}-h_{p2}$	Q_{MB}	α	Δm	Δt	$Q_{\text{Wägung}}$
[mm]	[mm]	[m]	[dm ³ /s]	[dm ³ /mm]	[mm]	[s]	[dm ³ /s]

3.3 Kalibrierung eines Bourdon-Rohrmanometers

Die **dritte Aufgabe** ist die Kalibrierung des Dosenmanometers mit Hilfe der in Bild 5 gezeigten Anlage. Der durch Gewichtsbelastung erzeugte Druck ist

$$p_t = \frac{(m + m_0)g}{a} \text{ [Pa]}.$$

Im Fall der von uns verwendeten Anlage beträgt die Masse des Scheibenkolbens $m_0 = 1 \text{ kg}$ und der Querschnitt des Kolbens ist $a = 2 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$. Zur Änderung des Druckes stehen Stahlscheiben mit den Massen von 1 und 2 kg zur Verfügung. Als erster Punkt nehmen wir den leer mit Masse m_0 belasteten Zustand. Es ist zweckmäßig, die Belastung gleichmäßig zu erhöhen, und dann mit einer Verschiebung von einem Kilogramm in den gleichen Schritten zu vermindern. Es wird vorgeschlagen, 8 Messpunkte aufzunehmen. Bei der Messung (Ablesung) sollen wir die Scheibe umdrehen, um die störende Wirkung der vertikalen Kolbenreibung zu beseitigen. Bei der Messung und Auswertung wird folgende Tabelle ausgefüllt, und zum Schluß wird das Kalibrierdiagramm gemäß Bild 6 gezeichnet.

No.	$m + m_0$ [kg]	$p_{abgel.}$	p_t [bar]
1.			
2.			
...			
8.			

VORBEREITUNG AUF DER MESSUNG

- Für der Messung, bitte, mitbringen: 1 Stück Millimeterpapier, Bleistift, Lineal, und Taschenrechner!
- Füllen Sie das Bianco-Protokoll bis dem 4. Punkt aus! (Die weiteren Punkte werden wir in der Messung ausfüllen.)
- Die Studenten schreiben eine kurze (5-10 Minuten dauernde) Testarbeit vor der Messung. Die Probeaufgaben und die theoretischen Fragen sind im Internet (www.hds.bme.hu) zu finden.

Die Bemerkungen erwarten wir auf die folgende Adresse:
csizmadia@hds.bme.hu