



LECKMESSTECHNIK

TEIL 1

„DIFFERENZDRUCKTECHNIK IN DER DICHTHEITSPRÜFUNG“

ISM DEUTSCHLAND GmbH

Laubach 30

D-40822 Mettmann

Telefon: 02104/1448-0

Telefax: 02104/1448-25

Email: info@ism-d.de

web : www.ism-d.de

Ausgabe 2, Stand Januar 1995

© 1994-04 **ISM** Deutschland GmbH - C. Verley

INHALT

Einführung „Druckabfallmeßtechnik“.....	4
I. Druckabfallmessung.....	5
1. Druckabfallmessung.....	5
1.1. Absolutdruckmessung.....	5
1.2. Differenzdruckmessung.....	7
2. Druckaufnehmervarianten.....	8
2.1. Manometer, Wasserrohrmanometer etc.	8
2.2. Piezo-Druckaufnehmer.....	8
2.3. Induktive Druckaufnehmer.....	9
2.4. Kapazitive Druckaufnehmer.....	10
2.4.1. Signalverarbeitung.....	11
2.4.2. Funktion.....	12
3. Prüfablauf.....	13
3.1. Füllen.....	14
3.2. Stabilisieren.....	14
3.3. Messen.....	16
3.4. Entlüften.....	17
4. Meßmodus.....	18
4.1. Druckabfall (dp).....	18
4.2. Differenzdruck/Zeit (dp/dt).....	19
4.3. Durchfluß (cm ³ /s).....	20
5. Störgrößen.....	22
5.1. Volumen.....	22
5.2. Temperatur.....	23

Einführung „Druckabfallmeßtechnik“

Füllt man ein Medium mit einem Überdruck in einen Prüfling, wird den physikalischen Gesetzmäßigkeiten zufolge die ausgeübte Kraft sich dann verringern, wenn durch eine Leckage das Prüfmedium austritt. Mit geeigneten Sensoren kann in diesem Fall ein Druckverlust festgestellt werden. Demzufolge spricht man hier von einer *Druckabfallmeßung*.

Eine Vielzahl von unterschiedlichen Sensoren, Meßgeräten und Verfahren sind für die oben aufgeführten Testmöglichkeiten bekannt, die wichtigsten werden in den folgenden Kapiteln beleuchtet.

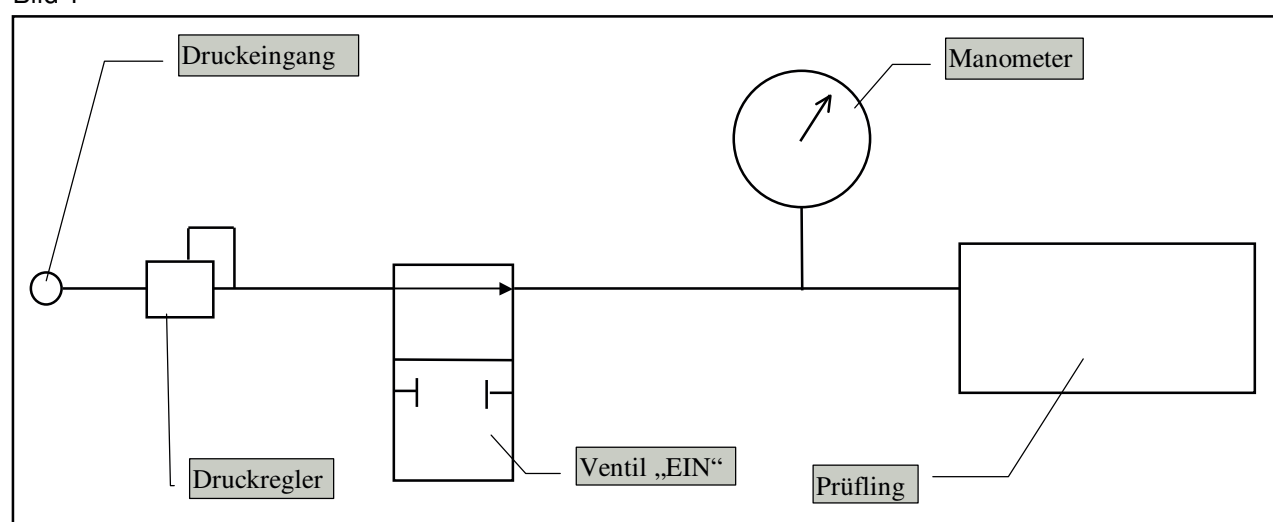
I. Druckabfallmessung

1.1 Absolutdruckmessung

Bei dieser Meßmethode wird ein Druckaufnehmer mit Nullpunkt abgeleitet gegen Atmosphäre angewandt. In vielen Fällen wird hierbei ein mehr oder weniger genaues Manometer eingesetzt.

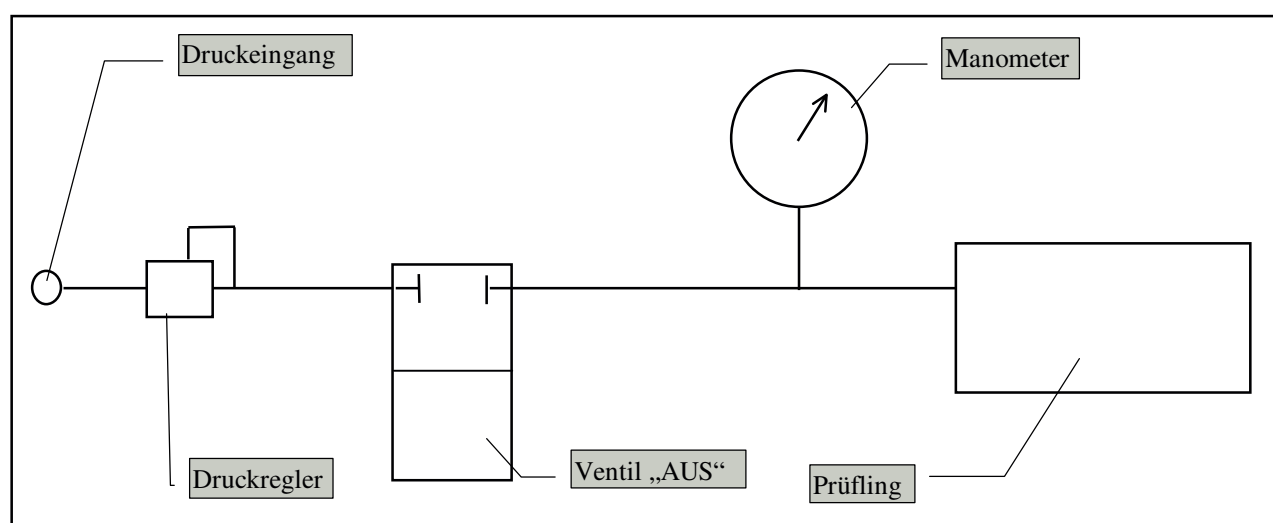
In der Darstellung Bild 1 erkennt man den grundsätzlichen Aufbau aller Absolutdruckmeßgeräte. Über den Druckregler gelangt das Testmedium in das Füllventil, in Stellung „EIN“ wird der Prüfling und der angeschlossene Druckaufnehmer (Manometer) befüllt.

Bild 1



Nach der Füllphase wird der Druck im Prüfling / Manometer von dem Druckregler getrennt. Ein undichter Prüfling würde nun einen Druckabfall erzeugen.

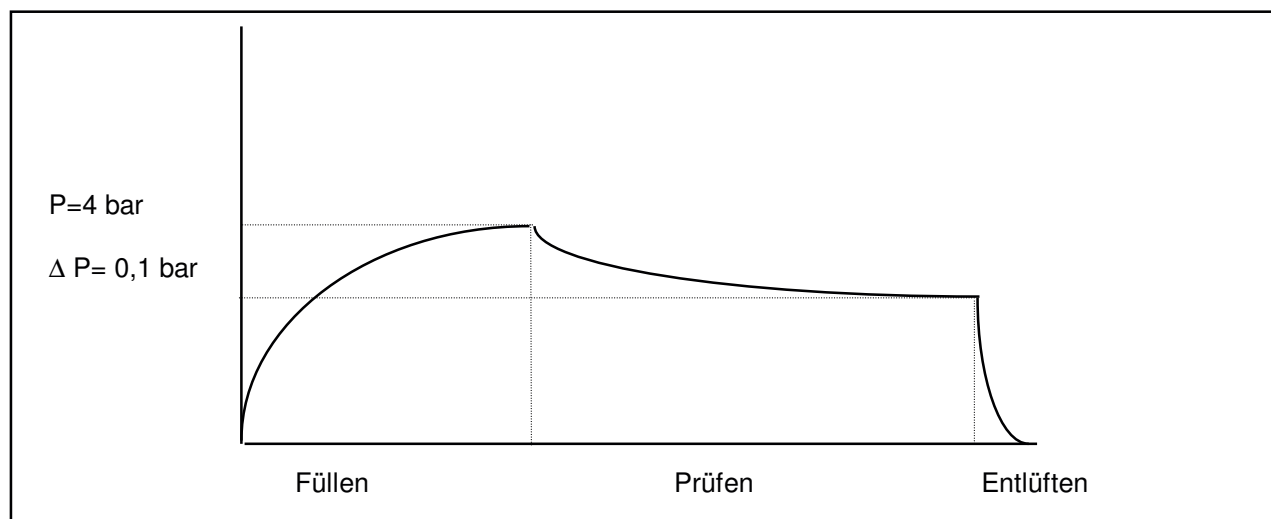
Bild 2



Die Messung des Druckabfalls ist in diesem Fall ein Teilverlust des angelegten, absoluten Prüfdrucks. Daher nimmt bei gegebener, gleicher Auflösung der Druckaufnehmer mit steigendem Prüfdruck die Anzeigeempfindlichkeit ab.

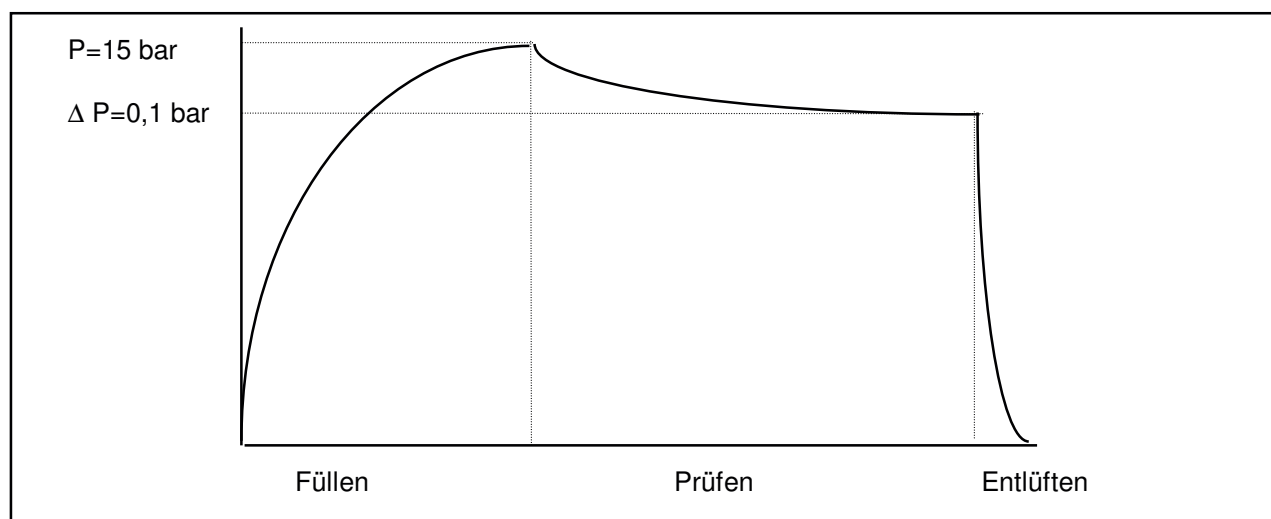
Beispiel 1: Prüfdruck = 4 bar, Druckabfall $[\Delta P]$ 0,1 bar. Verwendeter Druckaufnehmer 5 bar max. Eingangsdruck, Auflösung 1% (0,05 bar). Der Druckabfall ist mit dieser Methode meßbar.

Bild 3



Beispiel 2: Prüfdruck = 15 bar, Druckabfall $[\Delta P]$ 0,1 bar. Verwendeter Druckaufnehmer 20 bar max. Eingangsdruck, Auflösung 1% (0,2 bar). Der Druckabfall ist mit dieser Methode nicht meßbar.

Bild 4

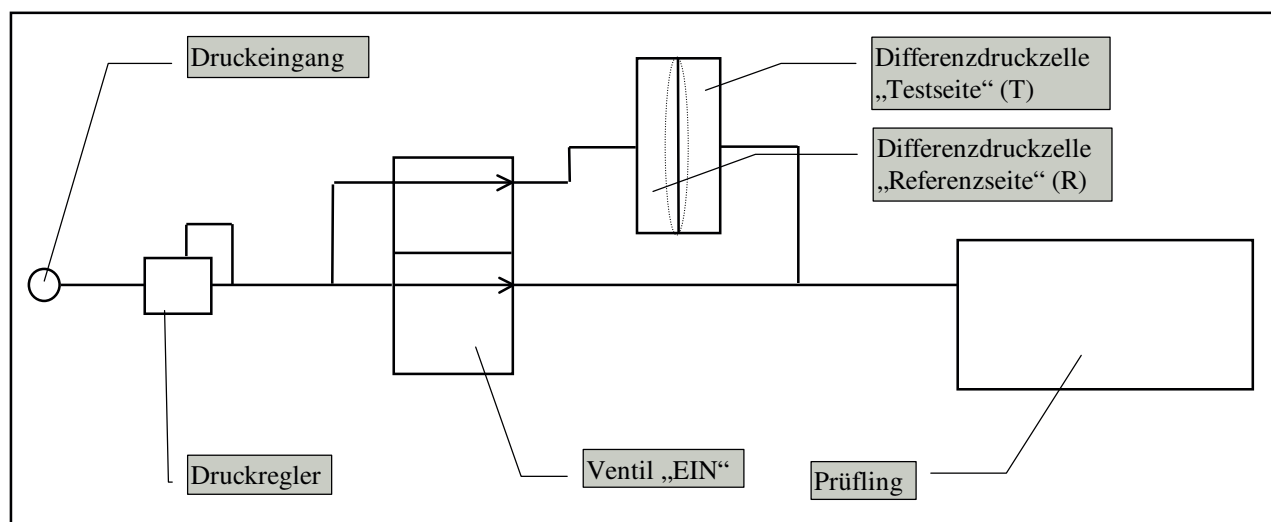


Es gibt noch weitere Nachteile dieser Prüfmethode, auf die wir in den folgenden Kapiteln im Detail eingehen.

1.2. Differenzdruckmessung

Mit der Differenzdruckmessung ist es möglich, den Nullpunkt des Druckaufnehmers an der Stelle zu plazieren, die der gewünschte Prüfdruck einnimmt. Bei gegebener und immer gleicher Auflösung der Meßmittel erreichen wir damit eine vom Prüfdruck unabhängige Empfindlichkeit der Druckmeßzellen.

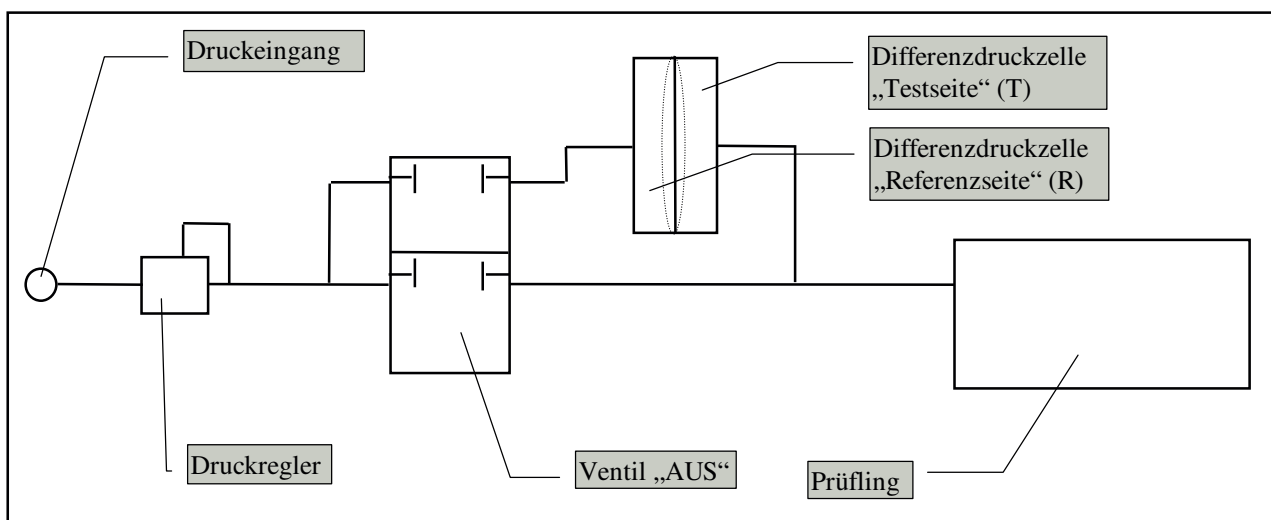
Bild 5



Nach der Füll- und Stabilisierungsphase wird in der Messzeit die Verbindung zwischen den Kammerhälften der Differenzdruckzelle unterbrochen (Bild 6). Während die „Testseite“ mit dem Prüfling verbunden ist, wird die „Referenzseite“ durch eine Kappe am Gerät verschlossen.

Kleine Druckabfälle werden jetzt durch die Auslenkung der Membrane des Differenzdruckaufnehmers, unabhängig des jeweiligen Prüfdrucks erfaßt.

Bild 6



2. Druckaufnehmervarianten

2.1. Manometer und Wasserrohrmanometer

Das Manometer ist das wohl bekannteste Meßgerät für Druck(abfall)-messungen. Die einfache Handhabung in Verbindung mit der direkten Anzeige des Prüfdrucks und dessen Veränderungen.

Letztendlich findet die Bewertung der Messung durch den Bediener statt. Seine Beobachtungsfähigkeit, Konzentration etc. ist der ausschlaggebende Faktor für die Interpretation der Meßergebnisse.

Desweiteren wird die Nachweisgrenze für Druckabfallmessungen durch die geringe Auflösung stark eingeschränkt. Bei einem Prüfdruck von z.B. 10 bar und einer max. Auflösung von 1% FSD können gerade mal 100 mbar Druckverlust gemessen werden.

Eine vergleichbare Variante der o.a. Druckabfallmessung kann mit sogenannten Wasserrohrmanometern durchgeführt werden. Der Prüfdruck wird hierbei mit einer Wassersäule angezeigt, die sich proportional zum Druck hebt oder senkt. Es lassen sich aus praktikablen Gründen jedoch nur kleinere Prüfdrücke realisieren.

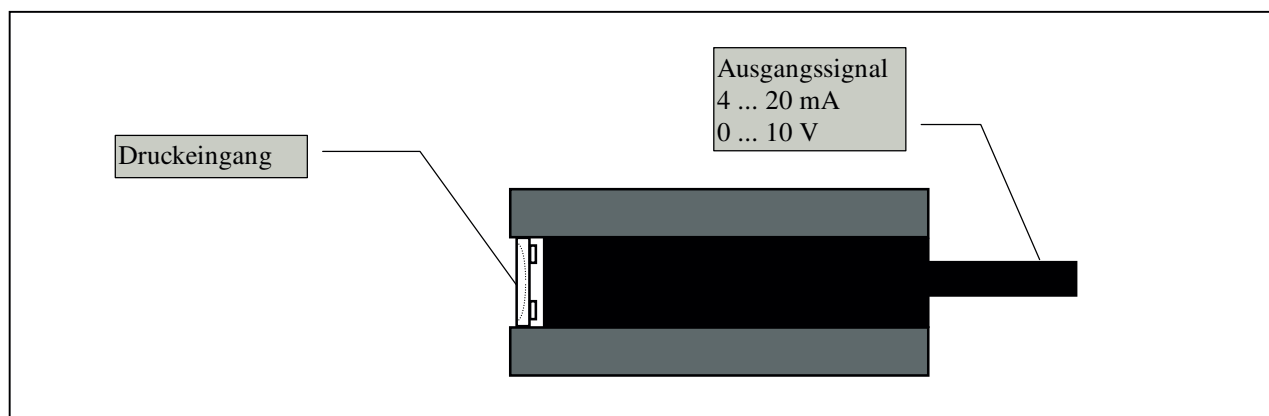
2.2. Piezo-Druckaufnehmer

Dieser Druckmeßumformer besteht aus 4 piezoresistiven Elementen, die in die Oberfläche einer Silikonmembrane eingebracht wurden. Die über einem winzigem Hohlraum angebrachte Membrane wird, wenn sie einem Überdruck ausgesetzt ist, eine Dehnung verursachen, die eine Widerstandsänderung der Piezoelemente hervorruft (Bild 7).

Ändert sich der angelegte Prüfdruck, wird sich proportional der Widerstand des Druckaufnehmers ändern. Diese Widerstandsänderung wird zumeist in für Steuerungssysteme geeignete Signale (4...20mA / 0...10V) umgewandelt.

Die erreichbare Empfindlichkeit bzw. Auflösung moderner Geräte liegt bei 1/10000, ist also Faktor 100 mal besser als bei vergleichbaren Manometern. Bei einem Prüfdruck von z.B. 10 bar kann mit dieser Auflösung immerhin eine Druckänderung von 1 mbar erkannt werden.

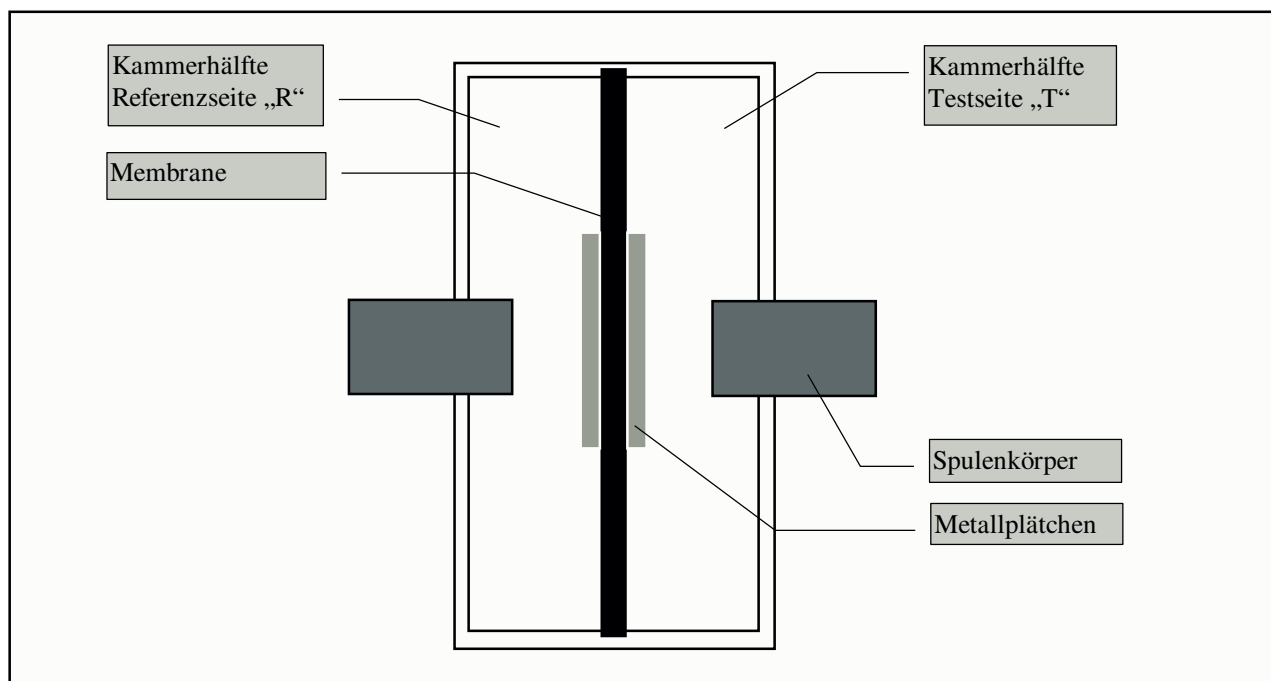
Bild 7



2.3. Induktive Druckaufnehmer (Differenzdruck)

Der induktive Druckaufnehmer besteht aus zwei, durch eine Gummimembrane getrennte Kammerhälften. Auf dieser Membrane sind beidseitig je 1 Metallplättchen angebracht. Demgegenüber findet man in den Kammerwänden integrierte Spulenkörper, die ihre Induktivität dann ändern, wenn sich die Metallplättchen der Membrane nähern.

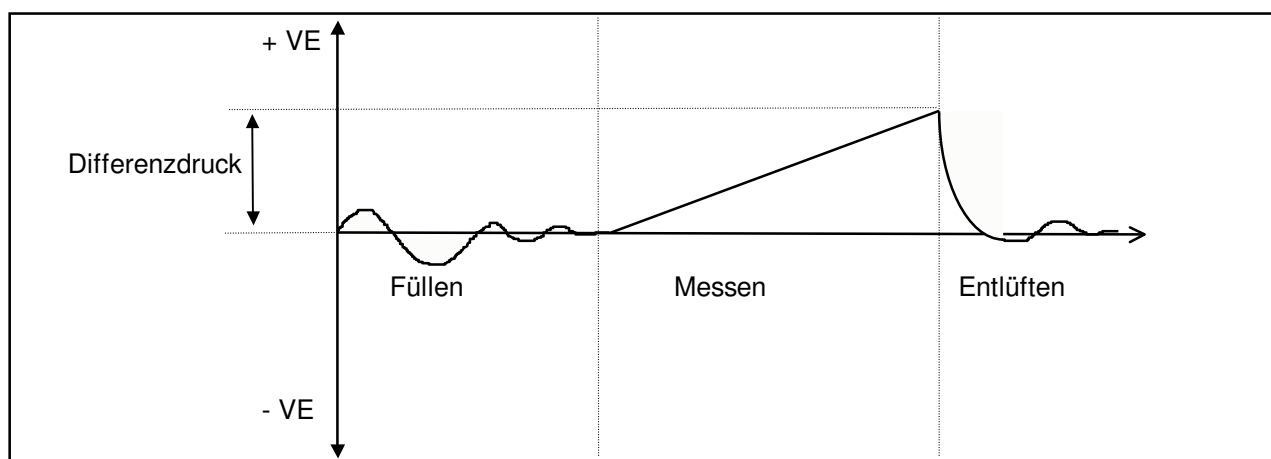
Bild 8



Der Prüfdruck wird gleichmäßig in beide Kammerhälften eingefüllt. Sinkt dann z.B. auf der Testseite der Druck, lenkt sich die Membrane in Richtung des Druckverlustes aus.

Diese dem Differenzdruck proportionale Bewegung führt zu Änderungen der Induktivität der angeschlossenen Spulen. Somit ist eine einfache Differenzdruckmessung möglich. Bedingt durch die Flexibilität der Membrane kann es jedoch zur Volumenverschiebungen und somit zu Fehlmessungen kommen.

Bild 9

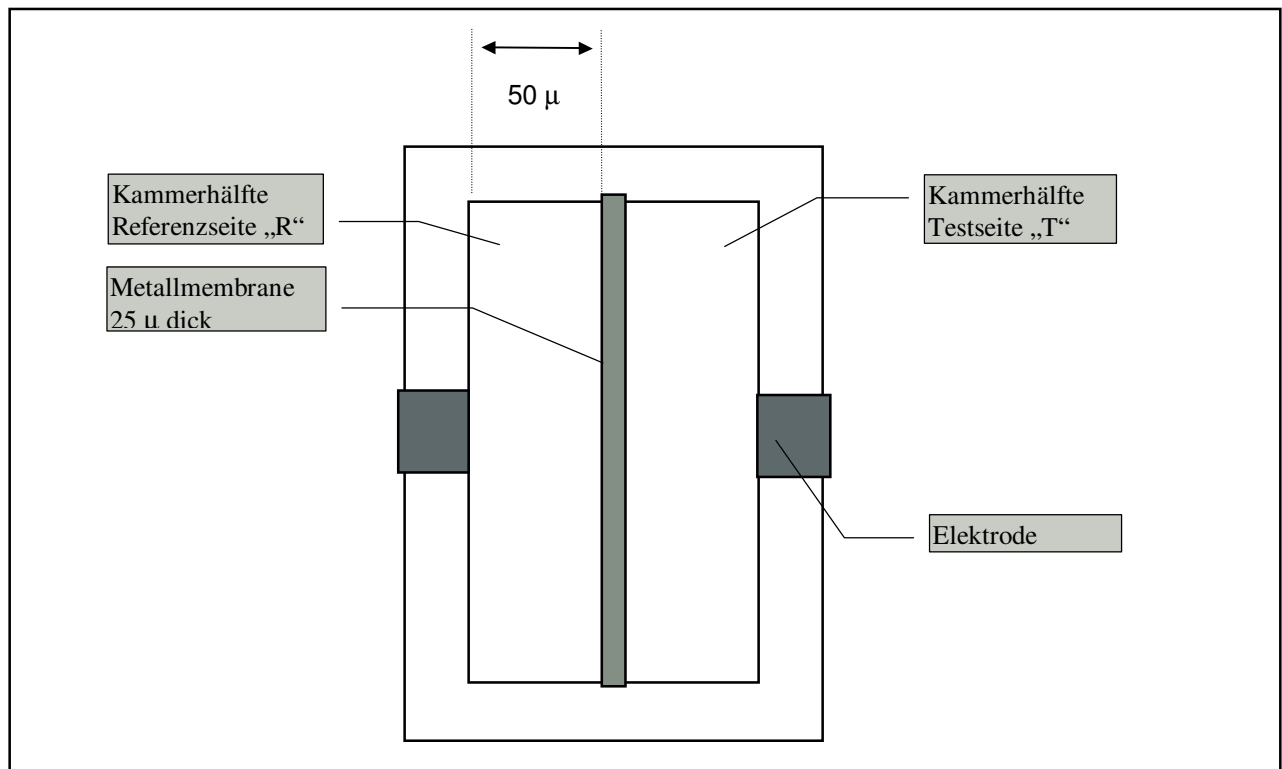


2.4. Kapazitive Druckaufnehmer (Differenzdruck)

Der grundsätzliche Aufbau dieses Druckaufnehmers ähnelt dem der induktiven Differenzdruckzelle. In diesem Fall besteht jedoch die Membrane aus Metall, die als Mittelelektrode eines Kondensators angeschlossen wird.

Die äußeren Elektroden sind an den Kammerwänden angebracht. Dazwischen steht ein Luftspalt als Dielektrikum.

Bild 10



Die Formel für „Kapazität“ lautet:

$$C = \frac{E \times A}{d}$$

C = Kapazität

E = Energie

A = Fläche der Elektroden

d = Abstand der Elektroden

Entsteht also in den Kammerhälften ein Differenzdruck, verändert sich durch die Auslenkung der Membrane (innere Elektrode) der Abstand zu den äußeren Elektroden. Die Kapazität der Anordnung ändert sich proportional zur Wegstrecke der Membrane und somit auch zum angelegten Differenzdruck.

Da die Auslenkung der Metallmembrane deutlich geringer ist als bei der Gummimembrane, kann das interne Totvolumen auf ein Minimum begrenzt werden. Volumenverschiebungen durch die Bewegung der Membrane sind vernachlässigbar klein.

Typische Spezifikationen einer Differenzdruckzelle:

- Empfindlichkeit: 0,1 Pa (0,001 mbar)
- Genauigkeit: < 1 %
- Wiederholgenauigkeit: < 0,5 %
- Messbereich: 0,1 ... 2000 Pa
- Geschwindigkeit: < 100 ms

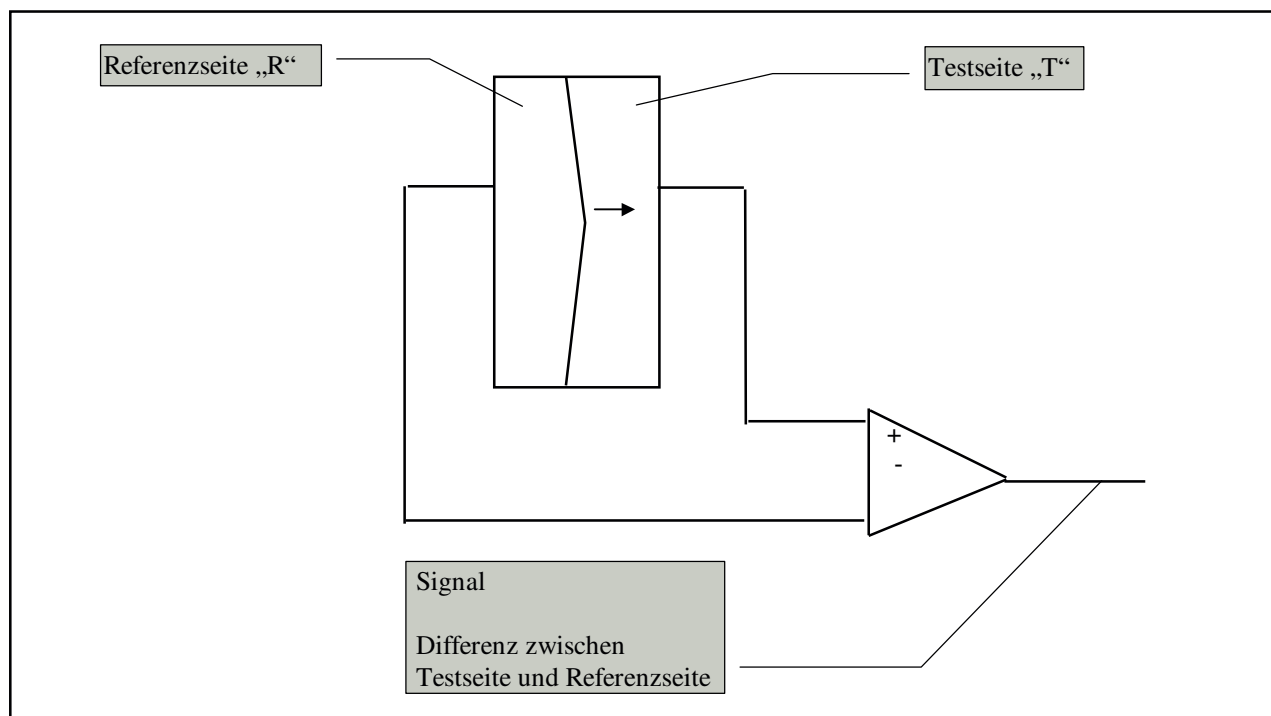
Aufgrund der aufgeführten Daten und der speziellen Konstruktionsmerkmale erscheint die kapazitive Differenzdruckzelle am geeignetsten für ein Lecksuchverfahren nach der Differenzdruckmethode.

Schauen wir uns also diesen Druckaufnehmer im Detail an:

2.4.1. Signalverarbeitung

Zur Verbesserung der Empfindlichkeit der Differenzdruckzelle werden meistens beide Kapazitäten abgegriffen bzw. gemessen und verglichen.

Bild 11



Da die Kapazität auf den Abständen der Elektroden zueinander beruht, kann für den Fall in Bild 11 folgendes festgestellt werden:

- Durch die Vergrößerung des Abstandes der Membrane von der Referenzelektrode (z.B. 1μ) bei gleichzeitiger Annäherung an die Testelektrode ($- 1 \mu$) ergibt sich eine Differenz von 2μ . Dieser Tatsache verdanken wir die große Auflösung von $1/20000$ bei kapazitiven Differenzdruckzellen.

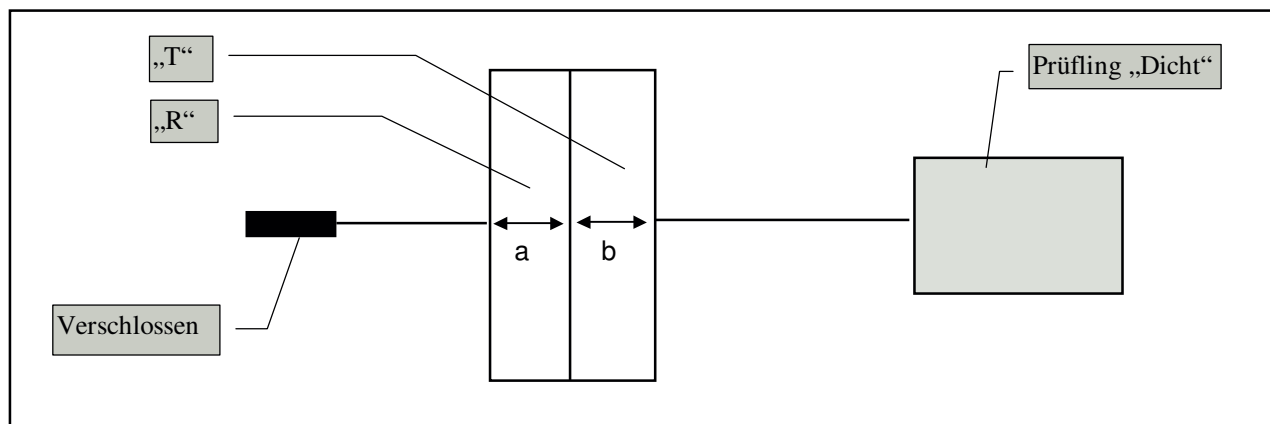


Der für Dichtheitsprüfungen interessante Meßbereich liegt in einem Bereich zwischen 1 bis 2000 Pa (0,01 bis 20 mbar). Kleinere Differenzdrücke wären zwar technisch meßbar, jedoch in den meisten Fällen überlagern die Umgebungseinwirkungen (Kapitel 5) wie z.B. Temperatur etc. diese Bereiche um ein Vielfaches.

2.4.2. Funktion

Betrachten wir nun einmal die Differenzdruckmeßzelle bei dem Messen einer Leckage, in dem die folgende Anordnung (Bild 12/13) mit einem Prüfdruck von 1 bar beaufschlagt wird.

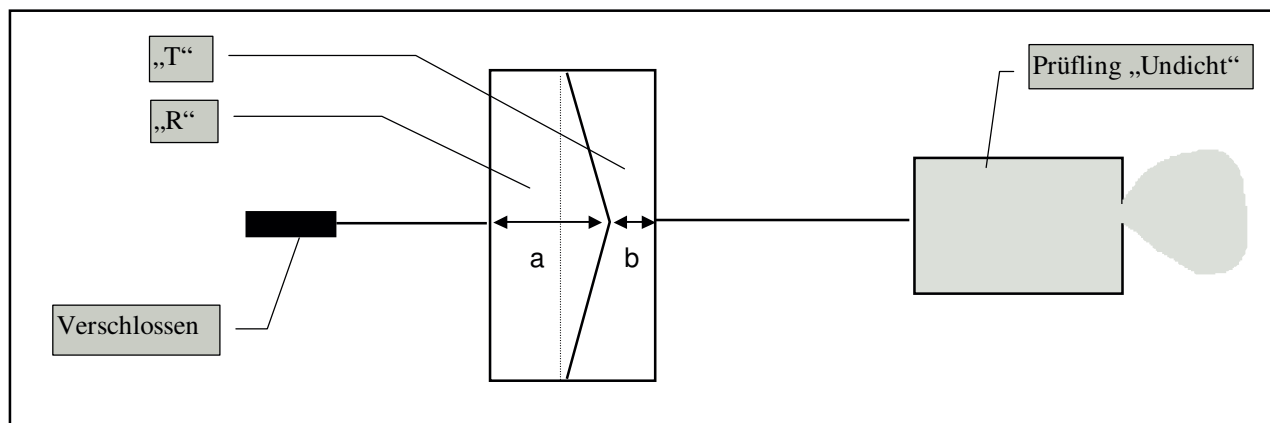
Bild 12



Messung: $a - b = 0$

In der o.a. Situation ist aus dem Prüfling kein Testgas entwichen. Daher sind die beiden Drücke in den Kammerhälften der Differenzdruckmeßzelle identisch. Die Membrane wird Ihre Mittellage nicht verlassen.

Bild 13



Messung: $a - b = \text{Leckage}$

Durch den Gasverlust Aufgrund einer Leckage im Prüfling kommt es zu einem Druckabfall im Testkreis. Der Druck in der Kammerhälfte „T“ sinkt und die Membrane lenkt sich in Richtung des Druckverlustes aus. Die Differenz zwischen a und b ergibt eine direkte Meßgröße für den Druckabfall der Leckrate.

3. Prüfablauf

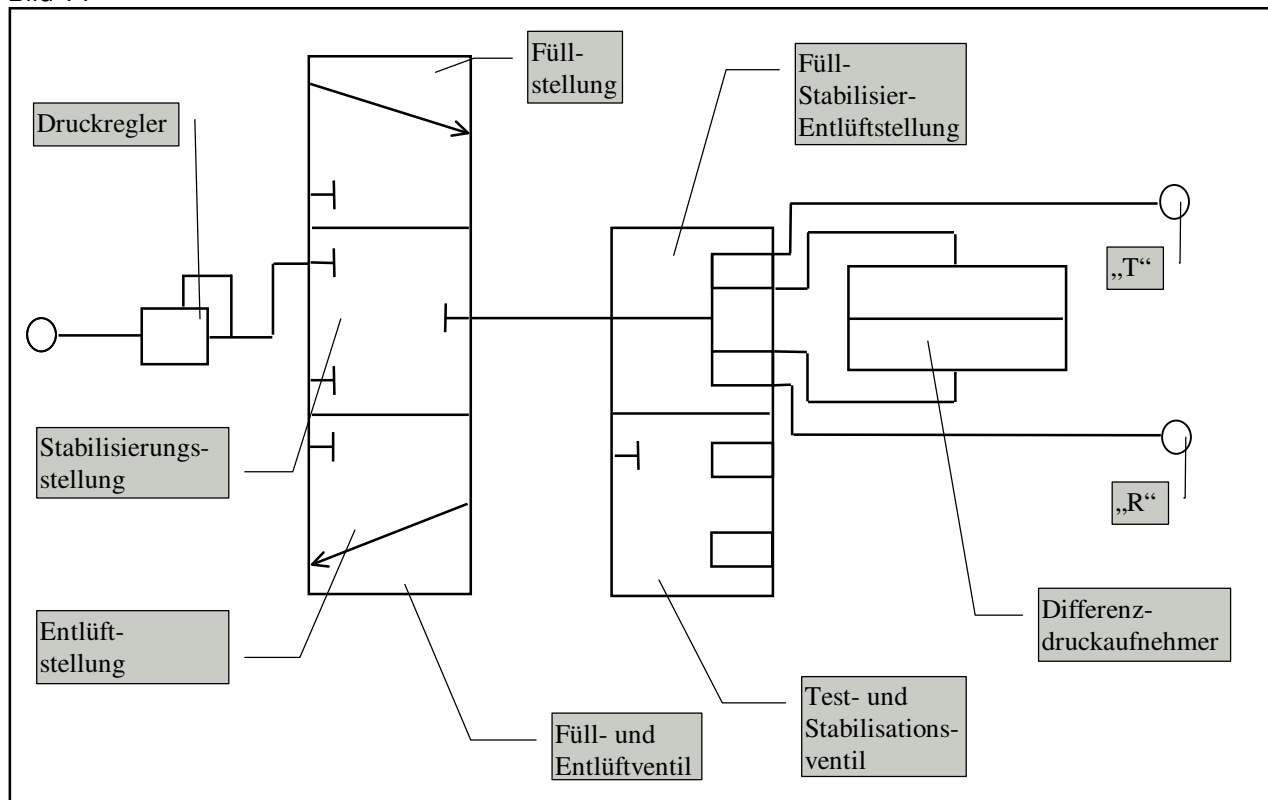
Nachdem wir nun diesen empfindlichen Differenzdruckaufnehmer kennengelernt haben, müßten wir versuchen, diesen Druckaufnehmer für die Dichtheitsprüfung nutzbar zu machen.

In der einfachsten Form der Leckmessung wird der Prüfling mit einem Testgas (Druckluft) befüllt, der mit dem gewünschten Prüfdruck gefüllte Kreis abgesperrt und der Differenzdruckaufnehmer ermittelt die eventuelle Leckrate. Nach diesem Test wird der Prüfdruck über ein Entlüftventil gegen Atmosphäre entspannt.

Möchte man jedoch die max. Empfindlichkeit der Meßzelle ausnutzen, muß Aufgrund physikalischer Gegebenheiten wie z.B. Temperaturanstieg, Expansionsbestrebungen des Prüflings oder der Prüfadapter etc. eine Beruhigungsphase zwischen dem Füllen und dem Messen, die sogenannte Stabilisierungszeit geschaltet werden.

In Bild 14 wird das Schema einer solchen Anordnung mit allen zur Ablaufsteuerung (Füllen, Stabilisieren, Messen, Entlüften) notwendigen Elementen dargestellt.

Bild 14



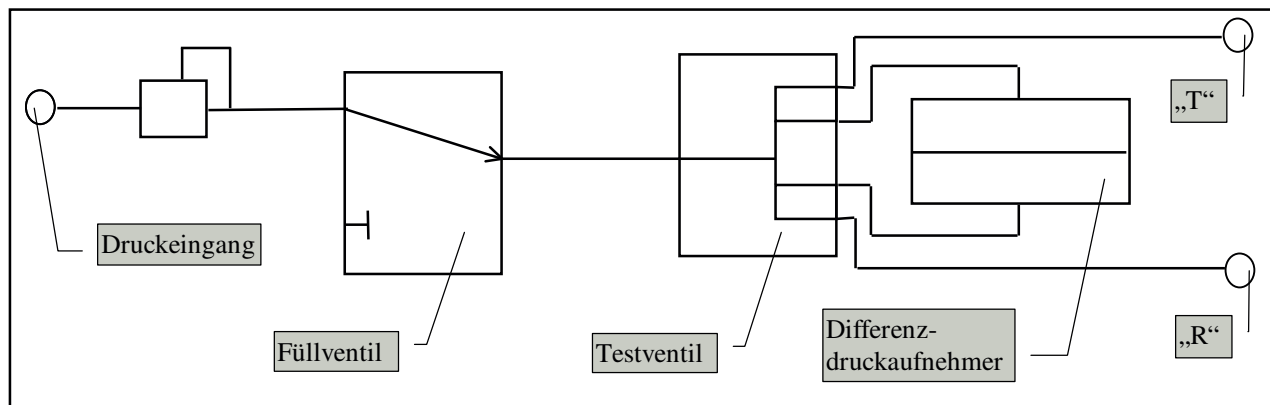
Anhand dieser Darstellung können wir uns jede Phase der Differenzdruckmessung verdeutlichen, die aus Kosten- und Sicherheitsgründen fast immer mit Druckluft betrieben wird.

Der Referenzausgang ist in den folgenden Beschreibungen jeweils verschlossen. In den darauffolgenden Kapiteln werden Prüfanordnungen beschrieben, in denen dies nicht so ist.

3.1. Füllen

In der Füllphase (-zeit) gelangt die geregelte Druckluft in das gesamte, angeschlossene System (Bild15). Beide Kammerhälften der Differenzdruckmeßzelle sowie der Prüfling und das Referenzvolumen (Kappe) werden mit dem gewünschten Prüfdruck befüllt. Die benötigte Zeit ist lediglich die Zeit, die zu Erreichung des Prüfdrucks im System benötigt wird.

Bild 15

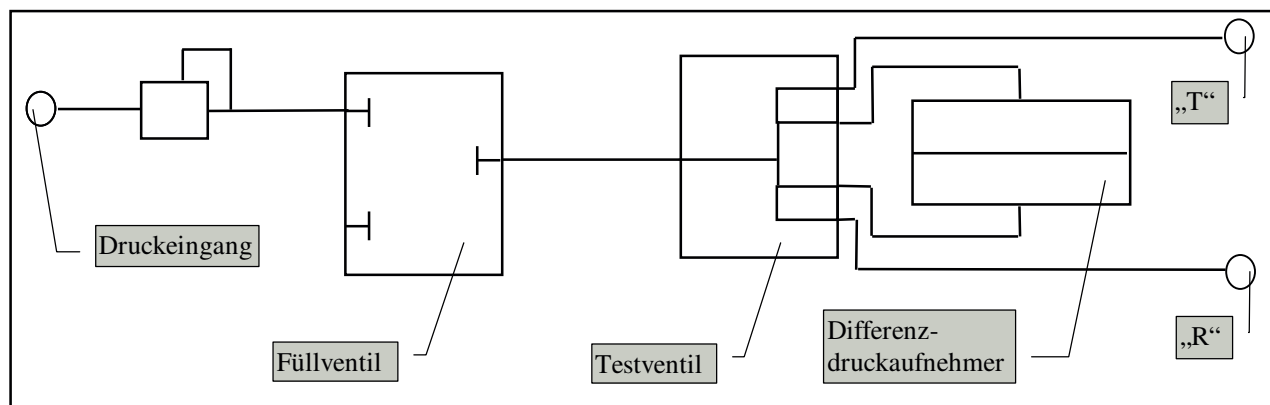


3.2. Stabilisieren

Mit dem Beginn der Stabilisierungszeit wird das Füllventil geschlossen (Bild 16). Das Testventil bleibt unbetätigt und verbindet Test- und Referenzausgang (ebenso „T“ und „R“ der Differenzdruckzelle) um Schwingneigung, Temperatureinflüsse, Expansionbestrebungen etc. möglichst abklingen zu lassen, bevor die Meßzeit beginnt.

In modernen Systemen wird während dieser Phase der anliegende Istdruck mit einem Absolutdruckaufnehmer gemessen und mit einem eingegebenen Solldruck verglichen. Mit dieser Einrichtung ist es möglich, grobe Leckagen schon im Vorfeld zu erkennen.

Bild 16



Welche Auswirkungen die Stabilisierungszeit auf das Meßergebnis hat, wird durch die folgenden Erläuterungen deutlich.

Die allgemeinen Gasgesetze lauten:
$$\frac{P \times V}{T} = \text{Konstant}$$

Daher ergeben sich bei der Verdichtung oder Entspannung von Gasen Temperatur- und Druckschwankungen.

Im Falle einer Druckbeaufschlagung eines Prüflings ergeben sich beide Kriterien:

Während die Komprimierung der Luft im Prüfling einen Temperaturanstieg zur Folge hat, wird die einströmende Luft zuerst durch die Druckregelung gekühlt um dann innerhalb des Prüflings und des Differenzdruckaufnehmers sich ebenfalls zu erwärmen.

Ein Rechenbeispiel verdeutlicht diese Theorie:

Wird ein Prüfling mit einem Totvolumen von 2.5 L von atmosphärischen Druck (1013 mbar) auf einen Überdruck von 2,5 bar mit Druckluft befüllt, ergibt sich eine Temperaturänderung der zusammenströmenden Gase (Atmosphäre + Füllmenge) von 20°C auf ca. 41°C.

Würde sich nun diese Luftwärme wieder auf Umgebungstemperatur (20°C) abkühlen, ergäbe das einen Druckabfall von 300 mbar. Einen Druckverlust dieser Größenordnung innerhalb der Meßphase würde nicht nur eine Grobleckmeldung verursachen, schlimmer noch, daß es sich hierbei nicht um ein Leck handelt sondern um einen physikalischen Einfluß.

Die Stabilisierungszeit soll diesen Einfluß teilweise kompensieren. Sie hängt jedoch noch von einer Vielzahl anderer Prüfbedingungen wie z.B. Materialbeschaffenheit, Dicke, Form und Größe des Prüflings, Expansionssicherheit der Prüfvorrichtung etc. ab. Umgebungstemperaturgänge und Drucklufteigenschaften üben ebenfalls einen großen Einfluß auf die Stabilisierungszeit aus.

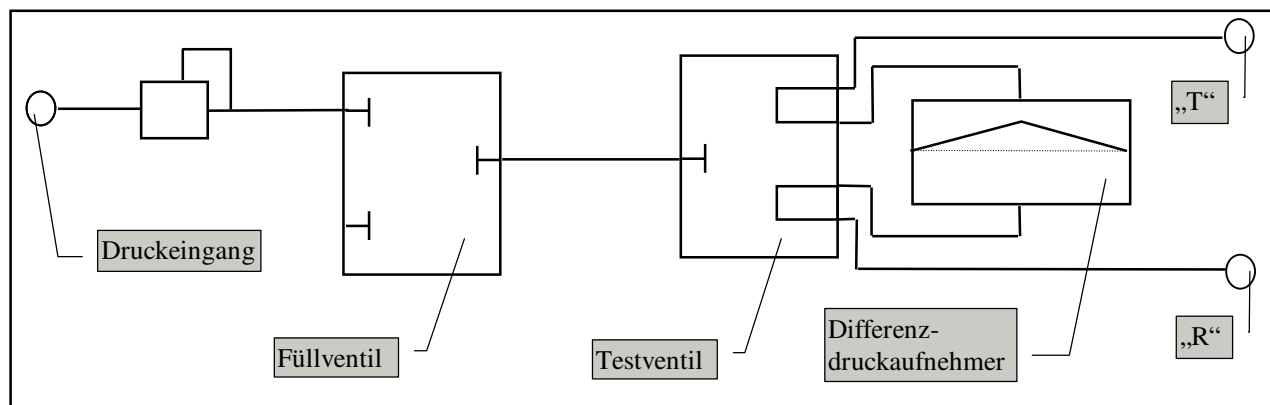


Je länger die gewählte Stabilisierungszeit desto besser wird das Meßergebnis.

3.3. Messen

Während der Meßzeit wird die Verbindung zwischen dem Referenzvolumen und dem Prüfling auf der Testseite aufgehoben (Bild 17). Die „R“-Kammerhälfte des Differenzdruckaufnehmers ist mit dem durch eine Kappe verschlossenen Referenzausgang verbunden, die „T“-Seite hingegen ist mit dem Prüfling verschaltet.

Bild 17



Jeder Druckabfall innerhalb der Testseite („T“) führt nun zu einer Auslenkung der Membrane des Differenzdruckaufnehmers. Diese Bewegung wird wie in Kap. 2.4.1. beschrieben, durch die nachgeschaltete Elektronik ausgewertet, mit den eingegebenen Grenzwerten verglichen und zur Anzeige gebracht.

Zusätzlich sind in den Differenzdruckmeßgeräten Groblecksicherungen eingebaut, die bei hohen Differenzdrücken eine Beschädigung der Membrane ausschließen.

In der Meßphase muß darauf geachtet werden, daß ambiente Einflüsse, die einen Einfluß auf den Druckverlauf innerhalb des Testkreises haben, weitestgehend unterdrückt werden.

Die wichtigsten Störgrößen, Temperaturänderungen und Expansionbestreben haben einen direkten, proportionalen Einfluß auf den Prüfdruck. (Details im Kap. 5)

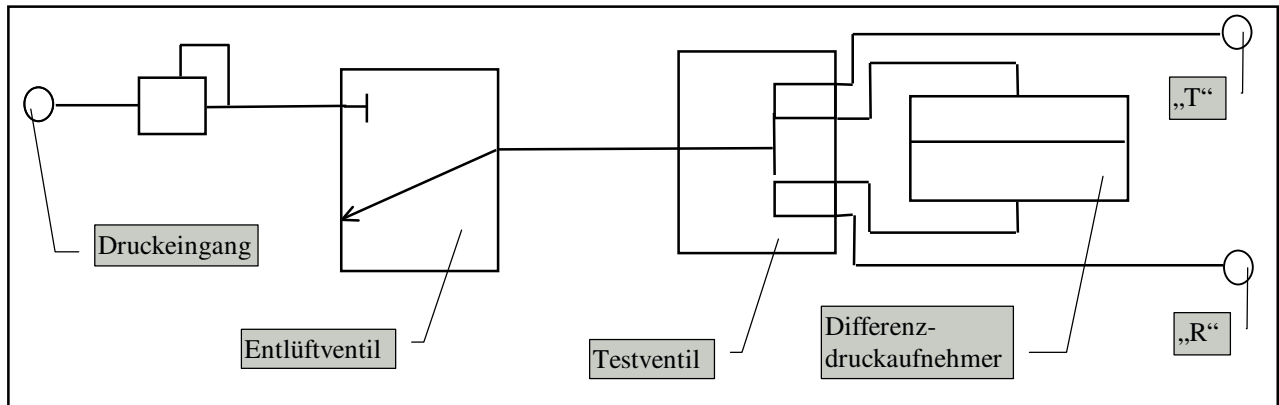


Um den Einfluß von Temperatur und Volumenänderungen zu reduzieren, ist es ratsam die Meßzeit so klein wie möglich einzustellen. Typische Werte liegen zwischen 0,5 .. 2s.

3.4. Entlüften

Die Entlüftung des Prüflings und des Meßsystems über den Ventilblock des Differenzdruckmeßgerätes ist der letzte Schritt einer Dichtheitsprüfung (Bild 18).

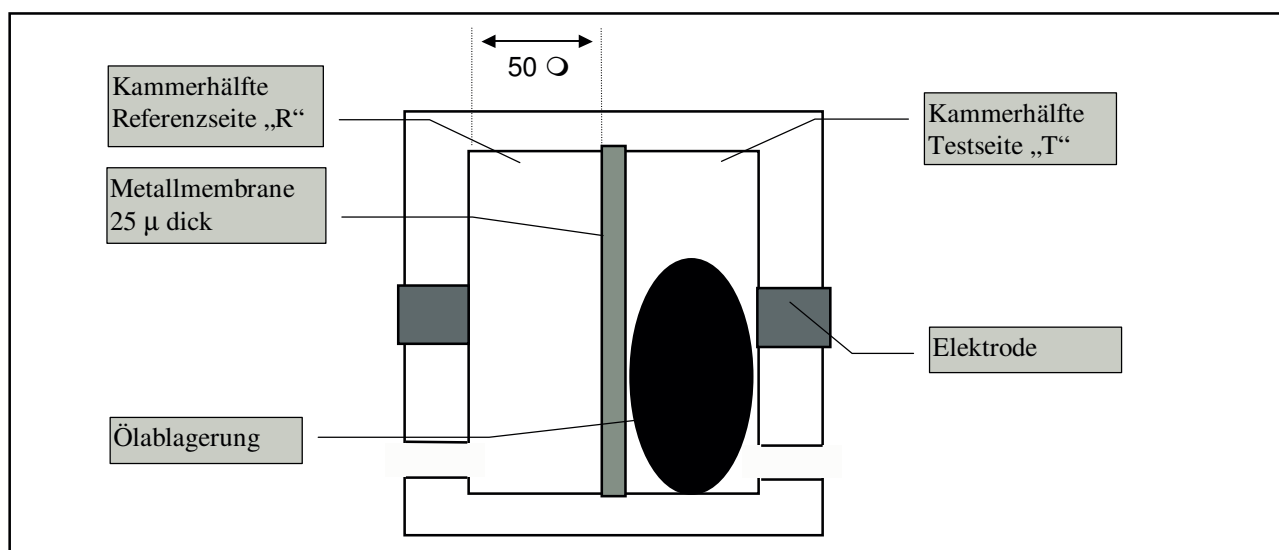
Bild 18



Sind die Prüflinge innerlich verschmutzt, kann es während der Entlüftung über das Meßgerät passieren, das Partikel oder Flüssigkeiten wie z.B. Öle, Wasser etc. durch die zurückströmende Prüfluft mitgerissen werden und sich im Ventilblock oder innerhalb der Differenzdruckzelle absetzen (Bild 19).

Aufgrund der kleinen Abmessungen innerhalb der Differenzdruckzelle führen die meisten Partikel- oder Feuchtigkeitsablagerungen auf der Membrane zu erheblichen Störungen und/oder zum Totalausfall des Meßgerätes.

Bild 19



Der einfachste Weg solche Verschmutzungen und damit teure Ausfälle zu vermeiden, ist ein zwischen Prüfling und Meßgerät geschalteter, spezieller Entlüftfilter, der den Anforderungen der Leckmesstechnik gerecht wird.

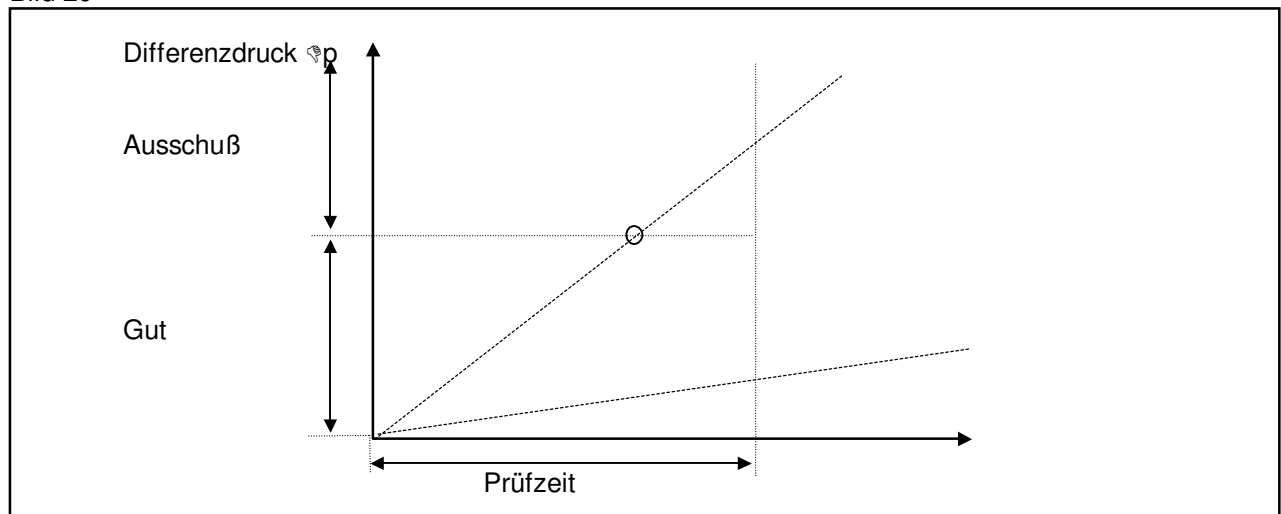
4. Meßmodus

In den meisten Differenzdruckmeßgeräten kann durch den Einsatz intelligenter Software die Anzeige der Leckrate oder des Druckabfalls auf verschiedene Weise erfolgen.

4.1. Druckabfall (dp)

Die meistangewandte Methode den aktuellen Druckabfall während der Meßzeit direkt anzuzeigen (Bild 20) ist die Druckabfallmessung.

Bild 20



Ist der Prüfling dicht, wird kein Differenzdruck erzeugt und die Differenzdruckzelle ermittelt einen Wert in Nullpunktnähe.

Der in Bild 20 dargestellte Druckverlust auf der „T“-Seite des Meßkreises erzeugt hingegen einen Differenzdruck, der proportional zur Zeitachse ansteigt.

Bei extrem kleinen Prüfdrücken in Verbindung mit kleinsten Totvolumen und großen Leckagen kann der Differenzdruckverlauf durch das gleichzeitige Absinken des Prüfdruckes unlinear erscheinen. Es handelt sich hierbei jedoch um wenige Ausnahmefälle.

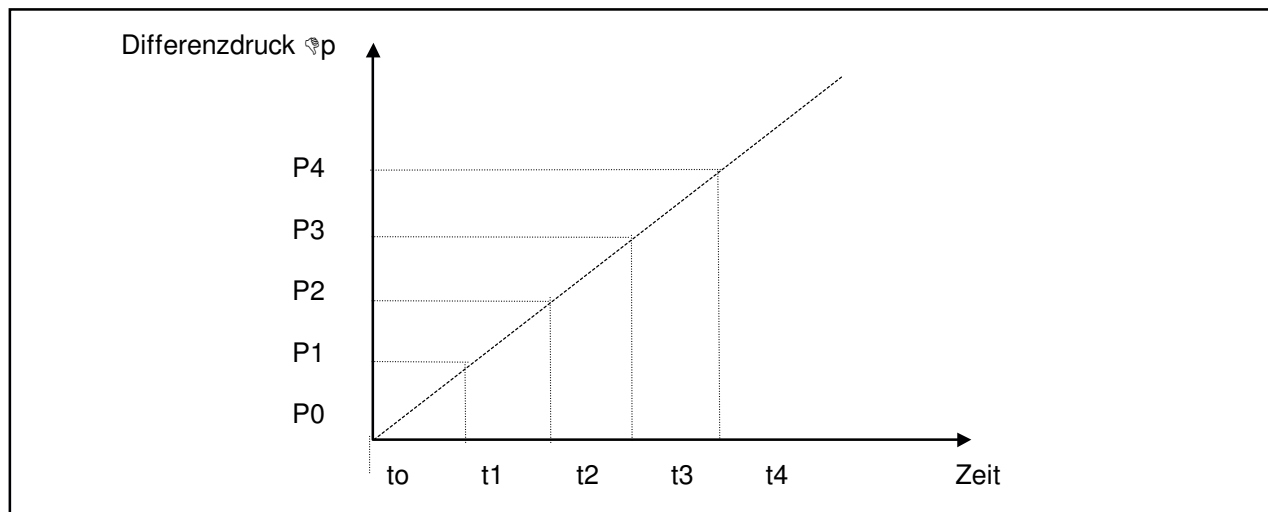
Der „dp“-Meßmodus ist im Vergleich zu anderen Auswerteverfahren anfälliger für elektronische Rauscheinflüsse auf den Sensorleitungen.

4.2. Differenzdruck/Zeit (dp/dt)

Diese Betriebsart bietet eine direktere Beziehung zur Durchflußmessung, da hierbei die „Änderungsrate“ des Prüfdruckes in Bezug zur Zeitachse (z.B. 0,10 mbar/s) angegeben wird.

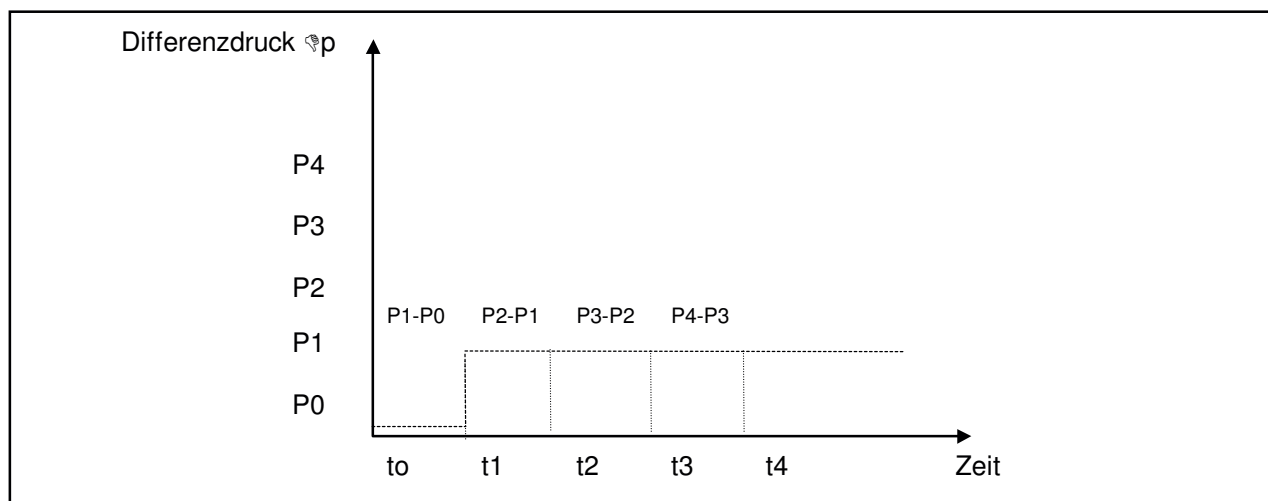
In dem folgenden Bild 21 wird das Signal des Differenzdruckaufnehmers dargestellt:

Bild 21



Einfach ausgedrückt, werden in der Betriebsart dp/dt „Momentanaufnahmen“ des Meßwertes, typischerweise alle 300 ms registriert (Bild 22). Der aktuelle Meßwert wird dann mit dem vorherigen verglichen.

Bild 22



Das Ergebnis dieser Messung ist ein gleichbleibender Wert der Leckratenänderung je Sekunde. Hierbei können wir einige Vorteile feststellen:

- Aufgrund der „Momentanaufnahmen“ des Meßwertes können Störungen wie z.B. Elektronikrauschen keinen dominanten Einfluß auf das Meßergebnis ausüben.
- Da wir von einem konstanten Ergebnis ausgehen, benötigen wir lediglich 2 Messungen, d.h. schnelle Meßzeiten ($<1s$) sind problemlos möglich.
- Ein unstabiles Ergebnis deutet auf eine zu kurze Stabilisierungszeit hin.

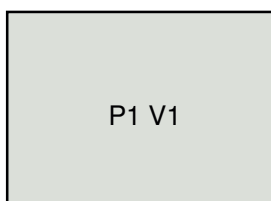
4.3. Durchfluß (Leckrate)

Wie läßt sich ein Durchfluß oder eine Leckrate bestimmen, während wir lediglich Druckabfälle messen?

Auch hier helfen die allgemeinen Gasgesetze weiter:

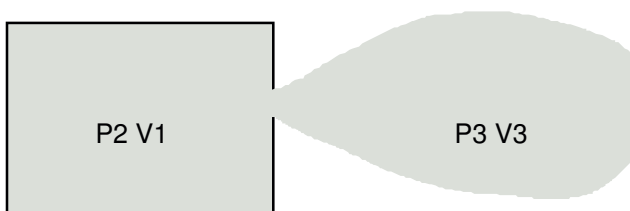
$$PV = \text{Konstant (bei konstanter Temperatur)}$$

Nehmen wir nun an wir füllen einen Prüfling mit einem bestimmten Volumen [V1] und einem gewünschtem Prüfdruck [P1].



Jetzt lassen wir eine bestimmte Zeitspanne [dt] verstreichen während der Prüfdruck gemessen wird. Kommt es durch eine Leckage zu einem Druckverlust, wird sich nach dem Ablauf der Zeitspanne ein neuer Druck [P2] im Prüfling einstellen.

Das entwichene Gas wird ebenfalls einen neuen Druck [P3] erhalten. Dieses Gas wird ein bestimmtes Volumen [V3] einnehmen.



Es ist deutlich zu erkennen, daß das im Prüfling zu Startbeginn enthaltene Gas die gleiche Volumenmenge einnimmt wie die Summe der Einzelvolumen (V1 +V2).

Daher folgt: $P1 V1 = P2 V1 + P3 V3$

Umgestellt: $P1 V1 - P2 V1 = P3 V3$

$$V1 (P1 - P2) = P3 V3$$

$P1 - P2$	=	$\frac{P3 V3}{V1}$
-----------	---	--------------------

$P1 - P2$	=	Druckabfall (dp)
$V3$	=	Entwichene Volumenmenge (dV)
$V1$	=	Totvolumen der kompl. Prüfanordnung (Vtot)
$P3$	=	Enddruck der entwichenen Volumenmenge (Ap) (normalerweise Atmosphärendruck)

In der bereits erwähnten Zeitspanne (dt) findet ein Druckverlust (dp) durch einen Volumenverlust (dV) einer Leckage statt.

$$\frac{dp}{dt} = \frac{dv/dt \times Ap}{V_{tot}}$$

Umgestellt zu der Formel für den Durchfluß oder Leckratenmessungen ergibt sich:

$$\frac{dv}{dt} = \frac{dp/dt \times V_{tot}}{AP}$$

Wobei die anzuwendenden Maßeinheiten der Meßwerte folgende sind:

Druckwerte	=	Pascal (Pa)
Volumen	=	ml
Zeit	=	in Sekunden (s)

daraus folgt:

$$ml/s = \frac{Pa/s \times V_{tot} (ml)}{100.000}$$

Mit dieser Formel ist es möglich, von Leckraten auf Druckabfälle in jeder gewünschten Maßeinheit umzurechnen.



Moderne Dichtheitsprüfgeräte sollten eine automatische Totvolumenvermessung in Verbindung mit der o.a. Leckratenformel gewährleisten.

5. Störgrößen

Volumen- und Temperaturänderungen sind die wesentlich beeinflussenden Faktoren bei der Dichtheitsprüfung. Diese Effekte wirken sich besonders Meßwertverfälschend aus, wenn die Änderungen innerhalb der Meßphase ablaufen.

5.1. Volumen

Bei der Dichtheitsprüfung nach dem Druckdifferenzverfahren gibt es Beschränkungen in Bezug auf die Größe, und der damit zusammenhängenden Totvolumen der Prüflinge.

Das maximale Totvolumen einer solchen Prüfung hängt im wesentlichen von der geforderten Leckratenspezifikation ab, sowie bei steigendem Volumen auch noch nach der vertretbaren Taktzeit der Leckmessung.



Im Allgemeinen kann gesagt werden, daß fachmännischer Rat vonnöten ist, wenn Volumen ab 3 - 4 Liter mit der Differenzdruckmethode geprüft werden sollen.

Das mit Abstand größte Problem einer Messung wird durch die mechanische Beschaffenheit des Prüflings sowie der Vorrichtung verursacht. Sogenannte „Expansionsbestrebungen“ dieser Komponenten verursacht eine Volumenänderung im geschlossenen Prüfkreislauf.

Folgendes Beispiel soll diese Theorie untermauern:

In der Meßphase eines Prüflings mit einem Gesamttotvolumen von 1 Liter und einer Leckspezifikation von zulässigen 200 Pa/s bei einem Druck von 2 bar wird das Gesamtvolumen um nur 1 ml verändert.

Auch hier helfen die Gasgesetze:

	PV	=	Konstant bei konstanter Temperatur
also	P1V1	=	P2V2
oder	P2	=	$\frac{P1V1}{V2}$

In unserem Beispiel sind:

P1	=	300000 Pa abs.	
V1	=	1000 ml	
V2	=	1001 ml	
P2	=	$\frac{300000 \times 1000}{1001}$	= 299700 Pa

Subtrahieren wir P1 - P2 erhalten wir die durch die Volumenverschiebung von 1 ml einen Differenzdruck von 300 Pa, dem 1,5-fachen der Leckspezifikation !



Expansion des Prüflings und der Prüfvorrichtung ist unter allen Umständen zu vermeiden oder zu verringern.

5.2. Temperatur

Wie die Volumenänderung so kann auch ein Temperaturdrift große Probleme bei der Differenzdruckmessung verursachen. Im allgemeinen kommen Temperaturstörungen häufiger als Expansionsverfälschungen vor, da bei jedem Prüfling durch das Befüllen mit Testgas eine Änderung der Temperatur feststellbar ist (Kap. 3.2.), jedoch bei mechanisch stabilen Prüflingen nicht immer eine Volumenänderung einhergeht.

Zur Verdeutlichung helfen die Gasgesetze:

$$P_2 = \frac{P_1 T_2}{T_1} \quad T_2 = \frac{P_2 T_1}{P_1}$$

Nehmen wir das Beispiel aus dem vorangegangenen Kapitel 5.1. um nachzuvollziehen, welche Auswirkungen Temperaturänderungen haben können (hierbei wird eine Umgebungstemperatur in der Startphase von 20°C angenommen).

$$T_2 = 299800 \times 293 = 292.8K = 19,8^\circ\text{C}$$

Dieses Rechenexempel verdeutlicht die Tatsache, daß bei einem Temperaturabfall von lediglich 0,2°C der eingeschlossene Prüfdruck um 200 Pa sinkt. Weitaus bedenklicher wäre die Situation bei einem Temperaturanstieg in dieser Größenordnung - die Folge daraus würde sich in einem Druckanstieg äußern, der einem eventuellem Leck *entgegenwirken* könnte.



Bei einer Umgebungstemperatur von 20° C wirkt sich eine Temperaturänderung von 1° C mit 0,34% Druckänderung des anliegenden Prüfdruckes aus. Je höher der Prüfdruck, desto größer sind die Temperatureinwirkungen.

Folgende Werte gelten für einen Temperaturänderung von 1°C:

Prüfdruck	Druckänderung
100 mb	34 Pa
0,5 bar	170 Pa
1 bar	440 Pa
4 bar	1360 Pa
10 bar	3400 Pa

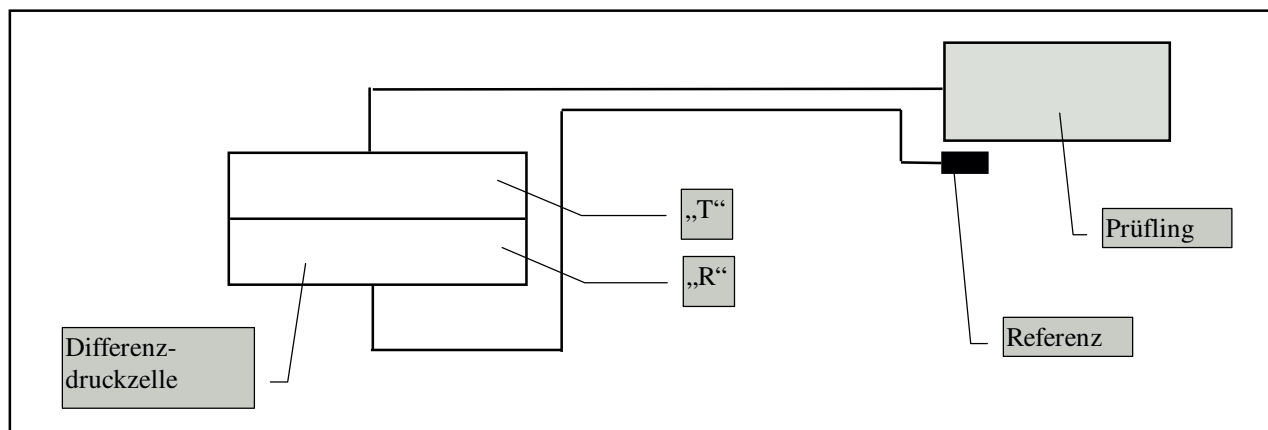
Handelt es sich bei der Erwärmung oder Abkühlung des Prüflings um eine Kurve immer gleicher Lage und Dimension, können spezielle Temperaturkompensationsverfahren angewandt werden.

Normalerweise jedoch sind die Temperaturgänge nicht gleichmäßig genug um sie mit dem ein oder anderen Verfahren befriedigend zu eliminieren.

Die oben genannten Temperatureffekte bringen die Membrane des Differenzdruckaufnehmers aus der für einen dichten Prüfling gewünschten Mittellage. Neben den Expansionsbestrebungen der Prüflinge ist dieser Umstand für eine Differenzdruckanzeige auch bei dichten Prüflingen verantwortlich.

Bei ambienten Einflüssen, wie z.B. Heizlüftern oder Außentore in der Nähe der Prüfvorrichtung, kann mit folgendem Verfahren (Bild 23) eine teilweise Kompensation erreicht werden:

Bild 23



An den Referenzanschluß des Meßgerätes, der normalerweise mit einer Kappe verschlossen ist wird ein Prüfschlauch mit gleicher Beschaffenheit, Länge und Lage wie der Testschlauch angeschlossen, der in der Nähe des Prüflings entweder mit einer Kappe verschlossen wird oder in einer Sackbohrung des Prüfadapters mündet.

Eine weitere Möglichkeit um Temperaturprobleme zu vermeiden ist es, einen Windkessel mit dem gewünschten Prüfdruck vor das Meßgerät zu schalten.

Inzwischen bietet Fa. **ISM** GmbH auf Wunsch eine kennfeldgesteuerte Temperaturkompensation an.



Die beste Temperaturkompensation jedoch ist, wenn im Vorfeld der Planung und während dem Betrieb Temperaturdrifts erkannt und dann weitestgehend vermieden werden.