

Temperatur – und Druckmessung

Einleitung

Wo benötigt man „**Temperatur-** und Druckmessung“

- Automobilindustrie
- Nahrungs- und Genussmittelindustrie
- Heizungs-, Sanitär-, und Klimabranche
- Kraftwerks- und Energietechnik
- Prozess- und Verfahrenstechnik

⇒ Die Temperatur ist, wie die Länge oder Masse, eine grundlegende physikalische Größe. Es muss daher auch eine, durch physikalische Gesetze festgelegte Temperaturskala mit einem eindeutigen Nullpunkt existieren.

Quelle: U. a. <http://www.testo.de>; www.wika.de; <http://de.academic.ru/dic.nsf/dewiki/354700>

Temperaturmessung

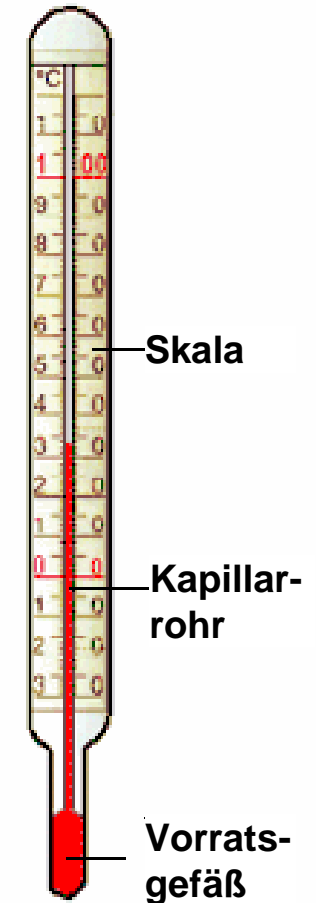
• Berührende Temperaturmessung

- Ausdehnungsthermometer (Hg-Thermometer) d.h.:
Ausdehnung als Funktion der Temperatur ($X = f(T)$)

Ausdehnungsthermometer basieren auf der thermischen Ausdehnung eines Stoffes, der fest, flüssig oder gasförmig sein kann.

Flüssigkeitsthermometer[#] sind mit Quecksilber oder einer organischen Flüssigkeit gefüllt. Die Anzeige erfolgt durch den Füllstand in einer Kapillare. Thermometer mit einer Quecksilberfüllung sind für den Temperaturbereich **-38,5°C** bis **+630°C** geeignet. Der Einsatz von organischen Flüssigkeiten ermöglicht Messungen bis **-200°C**.

Mit **Federthermometern** wird die Temperatur über ein elastisches Messglied gemessen, dessen Stellung entweder durch die Ausdehnung einer Flüssigkeit, durch den temperaturabhängigen Dampfdruck einer Flüssigkeit oder durch den mit steigender Temperatur zunehmenden Druck eines Gases verändert wird.



#⇒ Folie 9

$\Delta l = ..$

http://leifi.physik.uni-muenchen.de/web_ph08_g8/musteraufgaben/02innere_energie/empfindlichkeit/thermo_fluessig.gif

Temperaturmessung

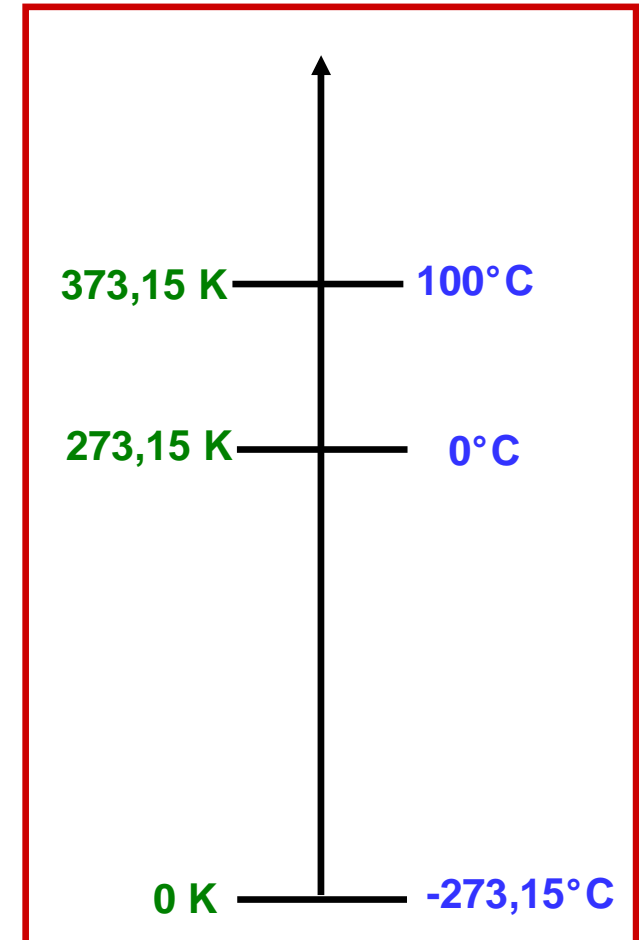
Temperaturskalen:

Kelvin-Skala: 1 Kelvin ist der 273,16-te Teil der Temperaturdifferenz zwischen dem absoluten Nullpunkt (0 K) und dem Tripelpunkt des Wassers (+0,01°C und 610,6 Pa).

Celsius-Skala: 1 °C ist der 100-te Teil zwischen dem Schmelzpunkt (0°C) und dem Siedepunkt (100 °C) des Wassers bei 101325 Pa. Die Celsius-Skala ist gegenüber der Kelvin-Skala um 273,15 Grad verschoben ($T = t + 273,15$).

In den englischsprachigen Ländern, insbesondere den USA, ist die **Fahrenheit-Skala** gebräuchlich. Als Fixpunkte wurden die Temperaturen $0\text{ °F} = -17,8\text{ °C}$ und $100\text{ °F} = 37,8\text{ °C}$ definiert ($T_F = 1,8 \cdot t + 32$).

Vergleich: K \Leftrightarrow °C



Temperaturmessung

- **Berührende Temperaturmessung**

- Widerstandsthermometer (Pt 100), d.h.:

Widerstand als Funktion der Temperatur ($R = f(T)$)

- Thermoelemente (NiCr – Ni) d.h.:

Spannung als Funktion der Temperatur ($U = f(T)$)

- Ausdehnungsthermometer (Hg-Thermometer) d.h.:

Ausdehnung als Funktion der Temperatur ($X = f(T)$)

- Schwingquarzsensoren d.h.:

Frequenz als Funktion der Temperatur ($f = f(T)$)

- **Berührungsfreie Temperaturmessung**

- Strahlungs-pyrometer

Temperaturmessung

• Berührende Temperaturmessung

- Widerstandsthermometer (Pt 100), d.h.:

Widerstand als Funktion der Temperatur

$$R(T) = \rho \cdot (l / A) \text{ mit } \rho = \text{spez. elektrischer Widerstand } [\rho] = \Omega \cdot \text{m}$$

Ein **Widerstandsthermometer** besteht aus einem Mess-Widerstand, einem Schutzrohr und den entsprechenden Anschlüssen. Häufig wird Platin (**Pt**) als Ausgangsmaterial verwendet.

In der Regel sind die Messwiderstände auf **100 $\Omega \pm 0,1 \Omega$** bei **0° C** abgeglichen. Diese Widerstände werden auch als **Pt-100** bezeichnet. Im Allgemeinen erhöht sich der Widerstand mit zunehmender Temperatur.

Je nach Einsatzgebiet unterscheidet man 3 Bauformen:

- Dünnschichtsensoren
- Drahtgewickelte Keramikwiderstände
- Drahtgewickelte Glaswiderstände

⇒ Wird in der VT häufig eingesetzt!

Temperaturmessung

- **Fehlerquelle bei der Widerstandsmessung**

Üblicherweise wird der Widerstand eines Widerstandsthermometers mit Hilfe eines geeigneten Widerstandsmessgerätes (z. B. Wheatstonesche Brücke[#] oder Digitalmultimeter) gemessen. Dabei fließt ein Strom (zwischen 0,1 und 10 mA) durch den temperaturabhängigen Widerstand $R(T)$. Somit wird im Thermometer die elektrische Leistung $P_V = R \cdot I^2$ in Wärme umgewandelt, die zu einer Erhöhung der Temperatur und damit des Widerstandes führt.

Deshalb sollte durch die geeignete Wahl von R und I (≤ 1 mA) die Eigenerwärmung möglichst klein gehalten werden.

In der DIN EN 60751 ist festgelegt, dass die eingebrachte Verlustleistung $P_V \leq 0,1$ mW sein soll.

#Siehe Folie 31!

Temperaturmessung

- Fehlerquelle bei der Widerstandsmessung

Gegeben: $P_V = (R_t \cdot I^2) \leq 0,1 \text{ mW}$

$E_K = 0,03 - 0,4 \text{ K/mW}$ = Eigenerwärmungskoeffizient;
dieser hängt stark von der Umgebung (Luft, Wasser) ab!

$$\Delta T = P_V \cdot E_K = R_t \cdot I^2 \cdot E$$

I / mA	P_V / mW	$\Delta T / \text{mK}$
0,1	$1 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-2} - 4 \cdot 10^{-1}$
1	0,1	3 - 40
10	$1 \cdot 10^{+2}$

⇒ Werte gelten für $R_t = 100 \Omega$; für 25Ω bitte selber rechnen!

Temperaturmessung

Vorteile von Pt-Widerstandsühlern:

- weiter Temperaturbereich (-240°C bis 1000°C).
- hohe Langzeitstabilität
- breite Verfügbarkeit (Normen, Hersteller)
- wenige Quereinflüsse (Magnetfelder etc.)

Nachteile von Pt-Widerstandsühlern:

- relativ hoher Preis
- Baugröße kann nicht beliebig klein gehalten werden.
- durch den niedrigen Widerstand entsteht die Zuleitungsproblematik.
- Einfluss des Trägermaterials kann problematisch sein.
- Verunreinigungen (des Pt) kann Probleme bereiten.
- die Masse führt zu einer endlichen thermischen Bürde.
- die Eigenerwärmung durch den Messstrom führt zu einem additiven Temperaturfehler.



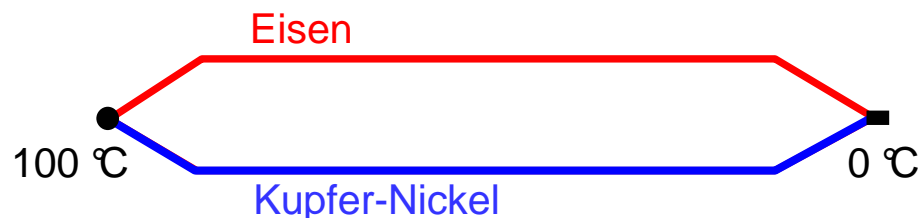
Temperaturmessung

• Thermoelemente

Prinzip:

Entsprechend dem Seebeck-Effekt entsteht beim Verbinden von zwei verschiedenen Metallen an deren Berührungsstellen eine Berührungsspannung, welche temperaturabhängig ist.

Ein physikalisches Thermoelement besteht aus **zwei** dieser **Berührungsstellen**. Besteht zwischen diesen keine Temperaturdifferenz, so heben sich die beiden Berührungsspannungen auf. Haben die beiden (meist verlöteten oder verschweißten) Verbindungsstellen unterschiedliche Temperaturen, so fließt als Folge einer **Thermospannung** ein **Thermostrom**.



Temperaturmessung

Vorteile von Thermoelementen:

- Über einen weiten Temperaturbereich einsetzbar (-240°C bis 2400°C)
- Kurze Ansprechzeiten
- Kleine Bauform und eine gute Ortsauflösung
- Geringe Ableitfehler wegen des hochohmigen Materials
- Keine Hilfsspannung zum Betrieb eines Thermoelements erforderlich

Nachteile von Thermoelementen:

- Relativ geringe Genauigkeit und Auflösung
- Störanfällig durch geringe Empfindlichkeit (μV - Bereich)
- Spezielle und damit teure Materialien
- Die Kosten der Zuleitungen und Ausgleichsleitungen sind hoch
- Es muss eine Referenztemperatur direkt oder indirekt gemessen werden
- Sie unterliegen einer deutlichen Alterung

Temperaturmessung

- **Berührende Temperaturmessung**

- Schwingquarzsensoren d.h.:

Frequenz als Funktion der Temperatur ($f = f(T)$)

Beim **Schwingquarzsensor** befindet sich in einem hermetisch abgedichteten, Gas gefüllten Röhrchen von wenigen Millimetern Durchmesser ein Schwingquarz in Form einer Stimmgabel.

Für den Messzweck ausgenutzt wird bei dem Sensor die Resonanzfrequenz des Quarzkörpers, der eine nahezu lineare Frequenz-Temperaturcharakteristik aufweist. Der Messbereich von Schwingquarzsensoren ist auf einen Bereich von **- 70°C bis + 300°C eingeschränkt. In diesem Temperaturbereich sind Schwingquarzsensoren** den Widerstandsthermometern und Thermoelementen, insbesondere bei der Nullpunktstabilität ($\leq 0,1^\circ\text{C} / 10 \text{ Jahre}$), überlegen.

⇒ **Wird in der VT kaum eingesetzt!**

Temperaturmessung

- **Berührungsfreie Temperaturmessung**

- **Strahlungspyrometer**

Jeder Körper sendet eine seiner Temperatur entsprechende Strahlung aus, die sich vom Infrarotbereich (IR-Bereich) bis in den sichtbaren Bereich erstreckt. Oberhalb von **500°C** macht sich ein schwaches, grauweißes Leuchten bemerkbar, das bei weiterer Temperaturerhöhung in Rotglut, Gelbglut und Weisglut übergeht. Die Einordnung dieser „Temperaturstrahlung“ in das Strahlungsspektrum erfolgt anhand charakteristischer Wellenlängen. Bei der Ausbreitung der Strahlung wird eine Energie transportiert. Strahlungspyrometer messen diese Energie und ordnen ihr über die Strahlungsgesetze eine Temperatur zu.

⇒ **Wird in der VT kaum eingesetzt!**

Temperaturmessung

- Alle Methoden der Temperaturmessung basieren auf messbaren physikalischen Eigenschaften des Systems, die sich durch eine Temperaturerhöhung /-erniedrigung verändern.
- Die temperaturabhängige physikalische Größe ist beim:
 - a) Widerstandsthermometer der elektrische Widerstand,
 - b) Thermoelement die Potentialdifferenz aufgrund der thermoelektrischen Spannungsreihe,
 - c) Flüssigkeitsthermometer das Volumen der Messflüssigkeit,
 - d) Quarzkristallthermometer die Resonanzfrequenz eines Quarzes,
 - e) Strahlungspyrometer die Strahldichte.
- Das Messsystem (Fühler und Anzeigegerät) wird mit einem System bekannter Temperatur **kalibriert**.

Wie Kalibrierung?

Temperaturmessung

Kalibrierung von Thermometern

- Die Kalibrierung von Thermometern wird üblicherweise mit Hilfe von Temperaturfixpunkten durchgeführt. Die Fixpunkte wurden zuletzt 1990 international festgelegt, präzisiert und in einem Standard, der "Internationalen Temperaturskala von 1990" (**ITS-90**) veröffentlicht.
- Die ITS-90 enthält vor allem **Tripelpunkte** von Gasen und **Erstarrungspunkte** von Metallen (**z. B.: Tripelpunkt H₂O: bei 0,101.. MPa und 273,16 K; Tripelpunkt H₂ 13,80 K Schmelz-/Gefrierpunkt Gold bei 1337,33 K**).
- Diese Fixpunkte wurden von verschiedenen Staatsinstituten ermittelt.

⇒ Wie die nächste Folie zeigt existieren aber deutlich mehr Fixpunkte!

Temperaturmessung

Fixpunkte und Stoffe (ITS-90)	T_{90} in K
Tripelpunkt von Wasserstoff	13,80
Siedepunkt von Wasserstoff (bei 33330,6 Pa Umgebungsdruck)	17,04
Siedepunkt von Wasserstoff (bei 101325 Pa Umgebungsdruck)	20,27
Tripelpunkt von Neon	24,56
Tripelpunkt von Sauerstoff	54,36
Tripelpunkt von Argon	83,81
Tripelpunkt von Quecksilber	234,32
Tripelpunkt von Wasser (bei 101325 Pa Umgebungsdruck)	273,16
Schmelz-/Gefrierpunkt von Gallium	302,91
Schmelz-/Gefrierpunkt von Indium	429,75
Schmelz-/Gefrierpunkt von Zinn	505,08
Schmelz-/Gefrierpunkt von Zink	692,68
Schmelz-/Gefrierpunkt von Aluminium	933,47
Schmelz-/Gefrierpunkt von Silber	1234,93
Schmelz-/Gefrierpunkt von Gold	1337,33
Schmelz-/Gefrierpunkt von Kupfer	1357,77

Quelle: Handbuch zur Temperaturmessung mit Thermoelementen und Widerstandsthermometern; www.tcdirect.de

Druckmessung#

Einleitung

Wo benötigt man „Druckmessung“?

- Prozess- und Verfahrenstechnik
- Automobilindustrie
- Nahrungs- und Genussmittelindustrie
- Heizungs-, Sanitär-, und Klimabranche
- Kraftwerks- und Energietechnik

Also fast überall in Technik und Forschung!

Wie definiert sich der Druck?

Quelle: u. a. <http://www.testo.de>; www.wika.de, <http://de.academic.ru/dic.nsf/dewiki/354700>

Druckmessung

Definition: Druck $p = \text{Kraft} / \text{Fläche}$

Was sind die SI-Einheiten (Système International d' Unités)?

= Basiseinheiten des internationalen Einheitensystems

Die ISO (International Standardization Organization) als auch die IUPAP (International Union of Pure and Applied Physics) stellen internationale Empfehlungen für den Gebrauch der SI-Einheiten zusammen.

"Hüterin" der Einheiten in Deutschland ist die Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB, Berlin).

Die Ausführungsverordnung zum Gesetz über Einheiten im Messwesen (Einheitenverordnung) verweist auf die Norm DIN 1301.

Quelle: u. a. <http://www.testo.de>; www.wika.de, <http://de.academic.ru/dic.nsf/dewiki/354700>

Druckmessung

Einheiten

Das Pascal (Pa) kann aus den SI-Einheiten Newton und Meter abgeleitet werden.

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2.$$

Diese Einheit wurde nach Blaise Pascal[#] (1623 - 1662) benannt und hat das früher gebräuchliche mbar abgelöst.

Häufig verwendete Einheit in:

Meteorologie und Handwerk

hPa (= mbar)

industriellen Applikationen

bar, kPa oder MPa

Medizintechnik

mm Hg (z. B. der Blutdruck)

Quelle: u. a. <http://www.testo.de>; www.wika.de; <http://de.academic.ru/dic.nsf/dewiki/354700>

[#]französischer Mathematiker und
Naturwissenschaftler

Druckmessung

Definition der Druckarten

Absolutdruck:

- gemessener Druck über absolut Null
- Referenz: ideales Vakuum
- Messdruck immer größer als Referenzdruck

Überdruck:

- gemessener Druck über dem barometrischen Tages-Luftdruck
- Referenz: Umgebungsdruck
- Messdruck immer größer als Referenzdruck

Unterdruck:

- gemessener Druck unter dem barometrischen Tages-Luftdruck
- Referenz: Umgebungsdruck
- Messdruck immer kleiner als Referenzdruck

Differenzdruck:

- gemessener Druck über oder unter einem beliebigen Referenzdruck
- Messdruck kleiner oder größer als Referenzdruck

Druckmessung

Direkte Druckmessgeräte

Diese nutzen die Krafteinwirkung des Drucks und stellen die gemessenen Druckdifferenzen direkt über mechanische Vorrichtungen (z. B. Hebel mit Zeiger) dar. Jede mechanische Messung ist mit einer Deformation (Wegänderung, Winkeländerung etc.) verbunden. Solche Wegänderungen können prinzipiell

mechanisch

kapazitiv

induktiv

piezoresistiv

} **elektrisch**

erfasst werden und in entsprechende Ausschläge/Signale umgewandelt werden.

Druckmessung

Mechanische Druckmessgeräte

Vielfach bewährt sind anzeigende Druckmessgeräte für Über-, Absolut- und Differenzdruck mit Rohr-, Platten oder Kapselfedermeßsystemen. Die Geräte verfügen über Anzeigebereiche von **0 - 0,6 hPa bis 0 - 700 MPa** bei einer Anzeigegenauigkeit bis zu 0,1%.

Elektronische Druckmessgeräte

Drucksensoren, Druckschalter, Druckmessumformer und Drucktransmitter für Messungen von Über-, Absolut- und Differenzdruck. Diese Geräte sind in den Messbereichen von **0 - 0,6 hPa bis 0 - 1.500 MPa** verfügbar. Diese Geräte werden i.d.R. mit normierten Strom- oder Spannungs-Ausgangssignalen sowie mit Schnittstellen eingesetzt.

Mechatronische Druckmessgeräte

Kombination von mechanischen und elektrischen Verfahren; diese Geräte verfügen auch über digitale und/oder analoge Ausgangssignale.

Quelle: http://de-de.wika.de/products_de_de.WIKA

Druckmessung

Bei Widerstandsdruckmessgeräten wird oft die Verformung eines Federelements mit einem Dehnungsmessstreifen (DMS) aufgenommen. Damit können Drücke von 10^{-5} bis 350 MPa bei einem Gesamtfehler zwischen 0,05 und 0,6% gemessen werden.

Kapazitive Druckaufnehmer messen den Druck über die Kapazitätsänderung eines mit einer Membran gebildeten Kondensators. Der Messbereich induktiver und kapazitiver Druckaufnehmer reicht von 10^{-2} bis 15 MPa mit einem Fehler kleiner 0,2%.

Bei induktiven Druckaufnehmern wird durch die Verformung einer Plattenfeder der mit dieser Feder verbundene Kern einer elektrischen Spule bewegt.

Piezoelektrische Druckaufnehmer können zur Messung schnell veränderlicher Drücke (keine statischen Drücke!) verwendet werden.

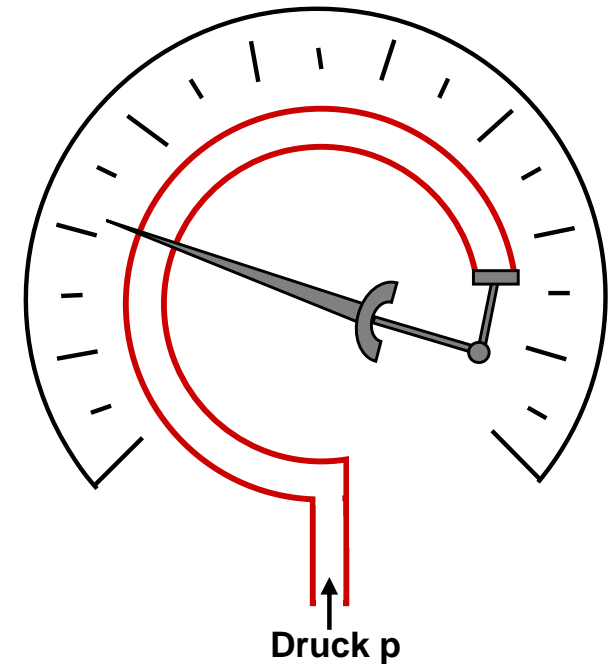
Quelle: u. a. Mesch, Franz: „Messtechnisches Praktikum“, 3. Aufl.1981, BI-Hochschultaschenbücher, Bd. 736

Druckmessung

Direkte Druckmessgeräte

Häufig wird das so genannte **Rohrfeder-Manometer (Bourdonrohr)** eingesetzt. Dieses mechanische Manometer wird heute im Bereich von ca. 0,05[#] bis ca. 500 MPa eingesetzt.

Im Manometer wird eine Feder durch einen beaufschlagten Druck verformt. Durch diese Verformung wird ein Zeiger bewegt und auf einer Skala kann der entsprechende Druckwert abgelesen werden. In der Praxis kommen auch Wellrohre oder Membranfedern etc. zum Einsatz.



[#]Bei Drücken < 0,05 MPa werden i.d.R. Membranen oder Membrankapseln als Messelemente verwendet.

Quelle: u. a. <http://de.academic.ru/dic.nsf/dewiki/354700>, <http://www.testo.de>

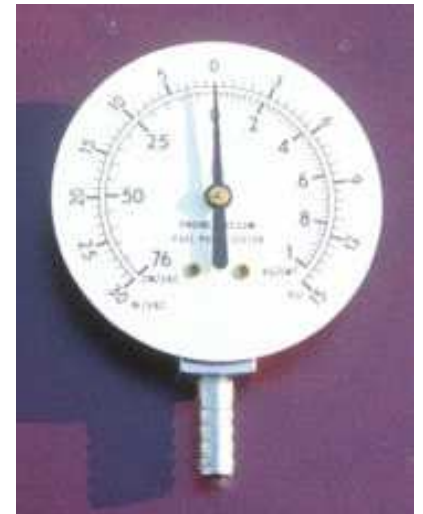
Druckmessung

Direkte Druckmessgeräte

Vorteile: Sie zeichnen sich durch eine einfache Bedienbarkeit, Robustheit und eine relativ kostengünstige Herstellung aus.

Jedoch weisen sie einige **Nachteile** auf:

- Durch die mechanische Verformung besteht die Gefahr, dass durch Materialermüdungen die Feder nicht in ihre Ausgangsposition zurückgelangt (**Hysterese**).
- Mit mechanischen Manometern kann nur der Relativ-/Überdruck oder Absolutdruck gemessen werden (je nach Variante). Ebenso liegt die Klasse (Genauigkeit) meist im Bereich von **1 %** (bezogen auf den Endwert), d.h. die Messwerte sind nicht sehr genau.



Quelle: u. a. <http://de.academic.ru/dic.nsf/dewiki/354700>, <http://www.testo.de>

Druckmessung

Direkte Druckmessgeräte

Beim **Kolbenmanometer** wird der Druck durch einen Kolben, der sich gegen eine Kraft verschiebt, angezeigt. Die Kraft kann durch Federn aufgebracht werden (z. B. Dampfkochtopf, dort in Kombination mit einem Überdruckventil) oder durch Gewichte (Präzisionsmanometer)#.

Dieses Prinzip wird zum einen für sehr einfache Manometer benutzt, zum anderen werden auch hochpräzise Kolbenmanometer zum Eichen bzw. Kalibrieren anderer Druckmessgeräte benutzt.

Bei diesen s. g. Drehkolbenmanometern wird der Kolben in Drehung versetzt (s. Druckwaage)#.

#wird später noch im Detail behandelt!

Quelle: u. a. <http://de.academic.ru/dic.nsf/dewiki/354700>, <http://www.testo.de>

Druckmessung

Direkte Druckmessgeräte

Die vermutlich früheste und einfachste Art Drücke zu messen sind **Flüssigkeitsmanometer**. Dabei wird der zu messende Druck mit der Höhe einer Flüssigkeitssäule verglichen. In Abhängigkeit von dem zu messenden Druck müssen unterschiedliche Flüssigkeiten eingesetzt werden.

Zum Beispiel ergeben sich bei einer Flüssigkeitssäule von 1 m Höhe folgende Messwerte:

- **Alkohol** **78,5 hPa**
- **Wasser** **98,1 hPa**
- **Quecksilber** **1334,2 hPa**

Somit eignen sich **Flüssigkeitsdruckmessgeräte** besonders für geringe Über-/ Differenzdrücke.

Quelle: u. a. <http://de.academic.ru/dic.nsf/dewiki/354700>, <http://www.testo.de>

Druckmessung

Direkte Druckmessgeräte

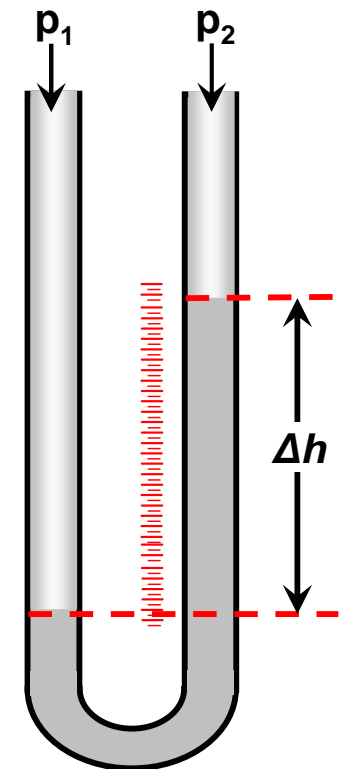
Messungen mit dem **U-Rohrmanometer** sind einfach und relativ zuverlässig, jedoch müssen einige wichtige Dinge beachtet werden.

Wichtig ist eine absolut waagerechte Anbringung, da bereits leichte Abweichungen zu falschen Messergebnissen führt.

Nachteil: Der Gerätetransport ist aufwendig (Entnahme und Befüllung), ev. muss dabei sehr vorsichtig agiert werden (Hg ist bereits in sehr geringen Konzentrationen toxisch).

Die verschiedenen Flüssigkeiten dürfen, bedingt durch ihre unterschiedlichen Dichten, **nicht** vermischt werden!

$$\begin{aligned}\Delta p &= p_1 - p_2 \\ &= \rho_{Fl} \cdot g \cdot \Delta h\end{aligned}$$



Quelle: u. a. <http://de.academic.ru/dic.nsf/dewiki/354700>, <http://www.testo.de>

Druckmessung

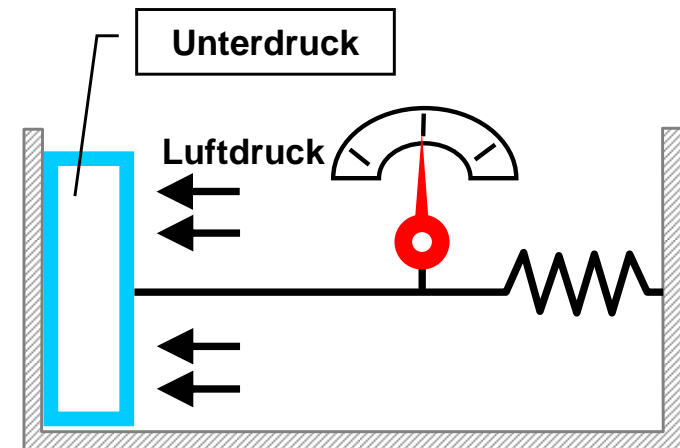
Direkte Druckmessgeräte

Membranmanometer arbeiten mit einer Gummi- oder Metallmembran, die entweder ein- oder beidseitig mit Druck beaufschlagt wird. Bei einer Druckdifferenz ($\Delta p > 0!$) wölbt sich die Membrane aus. Diese „Auslenkung“ kann.

mechanisch[#]

**kapazitiv
induktiv
piezoresistiv**

elektrisch



angezeigt werden.

[#]Für höhere Drücke kann hier auch eine Feder eingebaut werden. Diese Bauart wird aber sehr selten verwendet, da sie nur für kleinere Drücke geeignet ist und die Anzeige nicht linear ist (Skala am Ende zusammengedrängt).

Quelle: u. a. <http://de.academic.ru/dic.nsf/dewiki/354700>, <http://www.testo.de>

Druckmessung

Druckmessumformer für Präzisionsmessungen:

Besonderheiten:

- Genauigkeit 0,1 % (ohne zusätzliche Temperaturfehler im Bereich 10 ... 60 °C)
- Einfache PC Anbindung zur Kalibrierung und Justage mittels USB-Schnittstelle

Technische Daten:

Messbereiche:

0 ... 0,025 bis 0 ... 1.00 MPa relativ

0 ... 0,025 MPa bis 0 ... 1.6 MPa absolut

-0.1 ... 0 bis -0,1 ... 1,6 MPa Vakuum

Ausgangssignale:

4...20 mA (2- oder 3-Leiter)

0...5 V, 0...10 V (3-Leiter)



$p_{Max} = 1.500 \text{ MPa!}$

Druckmessumformer HP-2

Quelle: http://de-de.wika.de/products_de_de.WIKA

Druckmessung

Indirekte Druckmessgeräte

Werden nur für sehr spezielle Anwendungen eingesetzt.

Diese Messgeräte basieren auf:

Wärmetransport eines Gases (Pirani-Vakuummessröhre[#])

Ionenstrommessung (Ionisations-Vakuummeter⁺)

Reibung bzw. Viskosität (Viskositäts-Vakuummeter)

Kompression eines Gases auf ein bestimmtes Volumen

[#]Diese Methode beruht auf der Tatsache, dass Wärmeleitfähigkeit von Gasen innerhalb gewisser Grenzen druckabhängig ist (Messung nach der s. g. „Hitz-/ Messdrahtmethode“).

⁺Kombinierte Pirani-Vakuummeter besitzen neben dem Messdraht (i.d.R. Wolfram oder Nickel) eine Hülse, die mit dem Messdraht bei sehr geringen Drücken ein Ionisations-Vakuummeter bildet. Somit ist es möglich, einen Messbereich von $5 \cdot 10^{-9}$ hPa bis 0,1 MPa abzudecken.

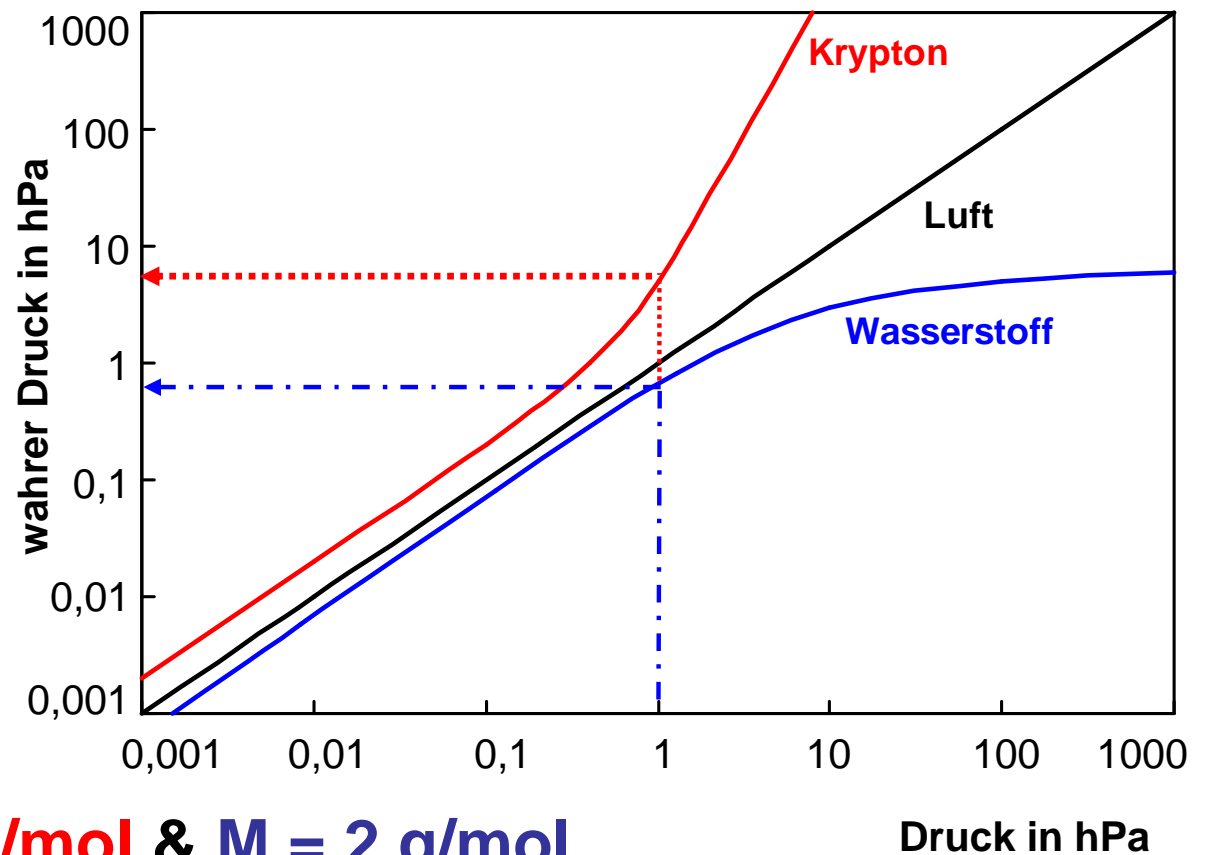
Quelle: u. a. <http://de.academic.ru/dic.nsf/dewiki/354700>, <http://www.testo.de>

Druckmessung

Wärmeleitfähigkeits-Vakuummeter nach Pirani

Die Wärmeleitung eines Gases sind bei Atmosphärendruck (und in weiten Bereichen darunter) druckunabhängig.

Ist jedoch die mittlere freie Weglänge der Moleküle groß (z. B. so groß wie die geometrische Abmessung der Apparatur) wird die Wärmeleitung vom Druck abhängig.



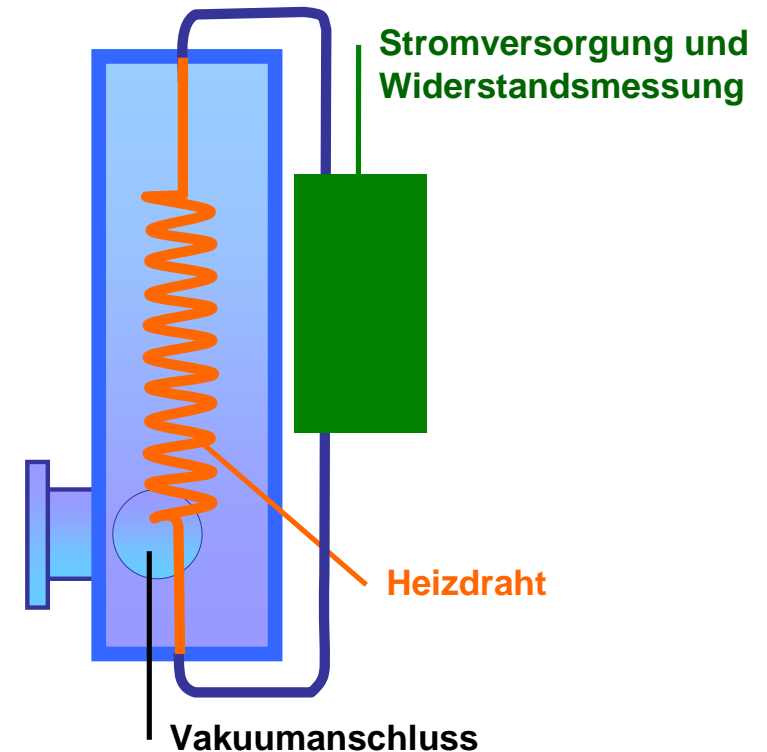
$$\Rightarrow \lambda = 1 / d^2; \mathbf{M = 83,8 \text{ g/mol}} \ \& \ \mathbf{M = 2 \text{ g/mol}}$$

Quelle: u. a. <http://de.academic.ru/dic.nsf/dewiki/354700>, <http://www.testo.de>

Druckmessung

Wärmeleitfähigkeits-Vakuummeter nach Pirani

In einem Vakuumgefäß ist ein elektrisch beheizter Widerstandsdraht angebracht. Dabei beeinflusst die (**vom Druck abhängige**) Wärmeabgabe die Temperatur und damit den **elektrischen Widerstand** des Drahtes. In der Regel ist die Pirani-Messröhre Bestandteil einer Wheatstone'schen Brückenschaltung.



⇒ **Standartmessgerät für die Vakuummessung!**

Quelle: u. a. <http://de.academic.ru/dic.nsf/dewiki/354700>, <http://www.testo.de>

Druckmessung

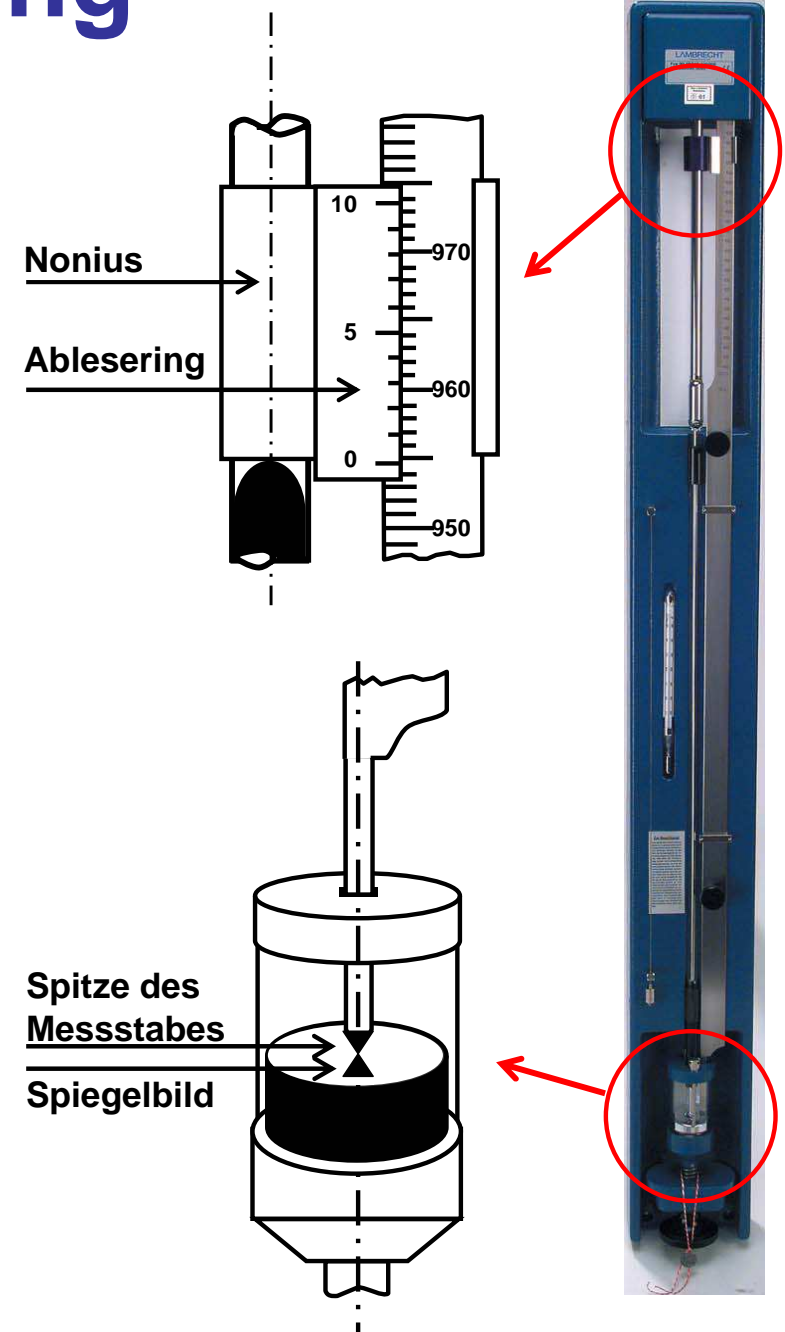
Spezielle Druckmessgeräte

Ein **Barometer** wird zur exakten Bestimmung des Luftdruckes verwendet. Es werden in der Regel Absolutdruckmessgeräte eingesetzt, die den Druck gegenüber einem Vakuum messen. Dieser Druckunterschied führt zu einer Kraft, die auf eine Fläche ausgeübt wird.

Barometer haben üblicherweise einen Messbereich von **800 - 1200 hPa** Absolutdruck (Druck gegen Vakuum).

Bei „Normalbedingungen“ (273,15 K, 1013,25 hPa) erreicht Hg eine Höhe von 760 mm.

Quelle: u. a. <http://de.academic.ru/dic.nsf/dewiki/354700>, <http://www.testo.de>



Druckmessung

Spezielle Druckmessgeräte

Ein **Drucksensor** ist ein Messelement, welches die physikalische Größe Druck in eine zum Druck proportionale elektrische Ausgangsgröße umwandelt. Zur Bestimmung des Auflagedrucks wird die Definition des Druckes benutzt und auf eine Kraftmessung zurückgeführt. Es eignen sich somit sämtliche Messverfahren, die auch für die Kraft- und Gewichtsmessung verwendet werden, wie piezoelektrische Sensoren, Dehnungsmessstreifen aber auch Druckwaagen.

Die **Druckwaage (DW)** ist zusammen mit den Flüssigkeitsdruckmessern das Druckmessgerät mit dem kleinsten Messfehler. Sie wird deshalb als Drucknormal, Eichgerät und Präzisionsmessgerät verwendet. Der Anwendungsbereich liegt zwischen 0,1 und 250 MPa Überdruck.

⇒ **Prinzip DW?**

Quelle: u. a. <http://de.academic.ru/dic.nsf/dewiki/354700>, <http://www.testo.de>

Druckmessung

Prinzip von mechanischen Druckwaagen

Bei einer Druckwaage übt der Druck über einen Zylinder eine Kraft auf einen Kolben aus und diese Kraft wird mit der Gewichtskraft geeichter Gewichte verglichen. In der Regel wird hier mit einer Ölvorlage und einem Verdränger (= beweglicher Kolben) gearbeitet.

$$p_K = \frac{(m_G + m_K) \cdot g}{A} + p_U$$

$$p_M = p_K - g \cdot \rho_{Fl} \cdot \Delta h$$

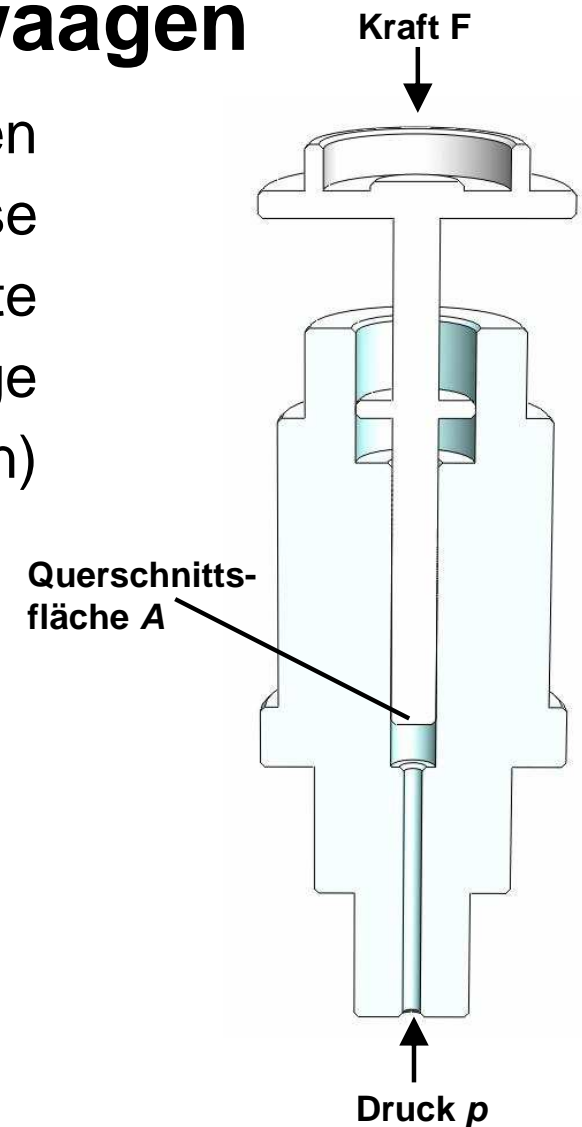
p_U = Umgebungsdruck

p_K = Druck an der Kolbenfläche A

m_G = die Masse der Gewichte

m_K = Masse der Kolbenstange

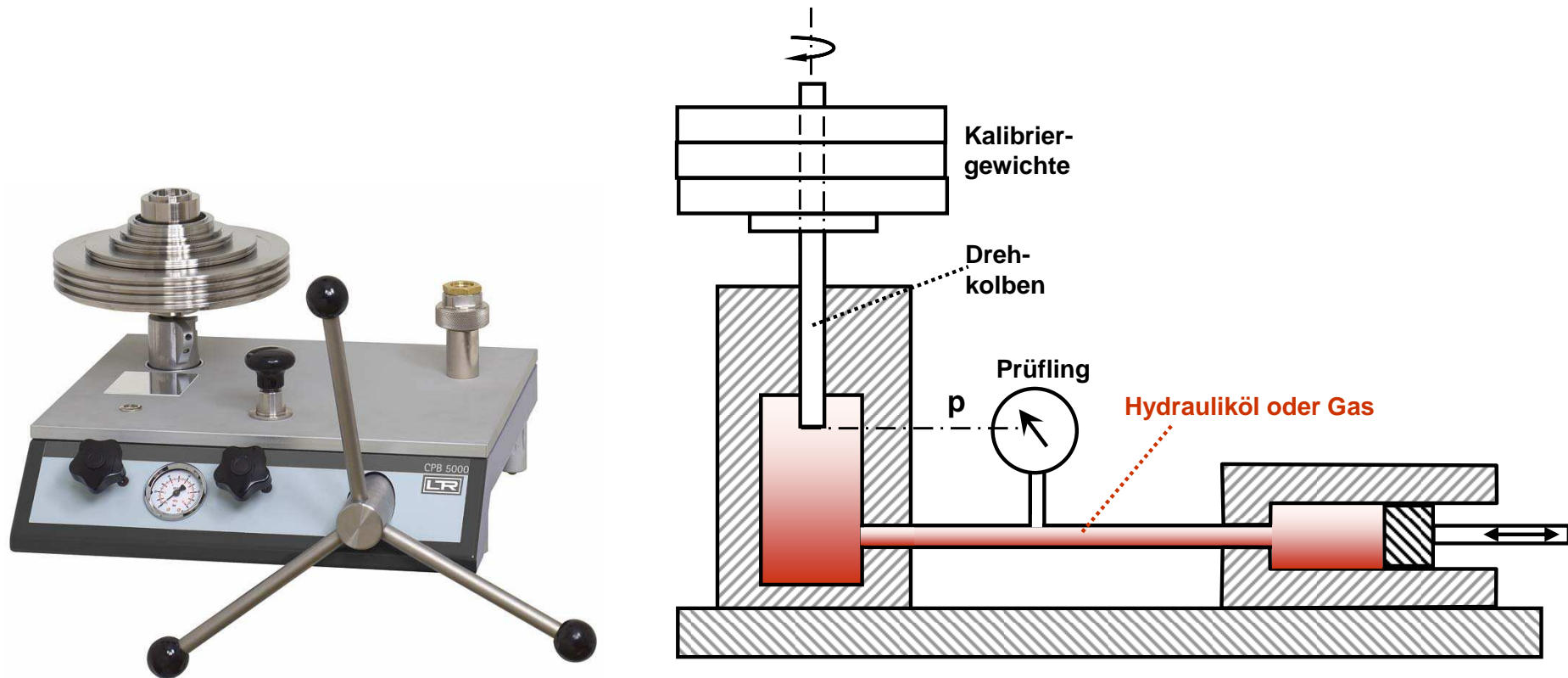
g = Erdbeschleunigung



Quelle: <http://www.proemtec.de/images/dwt.jpg>

Druckmessung

Prinzip von mechanischen Druckwaagen



Quelle: u. a. <http://de.academic.ru/dic.nsf/dewiki/354700>, <http://www.testo.de> http://www.druck-temperatur.de/dt/daten/cpb5000_d.pdf

Druckmessung

Neu: Elektronische Druckwaagen



- Druckbereich: von **0 - 100 MPa** oder **0 - 200 MPa**
- Auflösung Standardmäßig: **0,01%** vom aktuellen Bereich
- Messunsicherheit: **± 0,02%** vom Messwert im kompletten Messbereich
- Stabilität (1 Jahr): **± 0,0075%** vom Messwert

Variables Hubvolumen:

a) Standard: 3 cm³, max. 200 MPa; b) Groß: 7 cm³, max. 100 MPa

<http://http://www.europascal.de>

Druckmessung

Genauigkeiten

(Linearität / Temperaturkoeffizient / Hysterese)

In den meisten Fällen wird die Genauigkeit von Druckmessgeräten in sog. „Genauigkeitsklassen“ angegeben. So bedeutet Klasse 1,0: **eine Genauigkeit von 1% bezogen auf den Messbereichsendwert**. Es ist jedoch zu beachten, dass manche Hersteller die Genauigkeit ihrer Messgeräte auch auf den aktuellen Messwert beziehen.

Beispiel: Sie besitzen ein Absolutdruckmessgerät der Klasse 1,0 mit einem Messbereich von 0 bis 10 MPa. Somit beträgt die absolute Genauigkeit im gesamten Messbereich $\pm 0,1$ MPa.

Allerdings beträgt bei einem Messdruck von 1 MPa der relative Fehler $\pm 10\%$ und bei einem Druck von 0,5 MPa $\pm 20\%$!

Alternativen: Geräte mit umschaltbarem Messbereich
Einsatz von zwei oder mehreren Messgeräten

Quelle: u. a. <http://de.academic.ru/dic.nsf/dewiki/354700>, <http://www.testo.de>

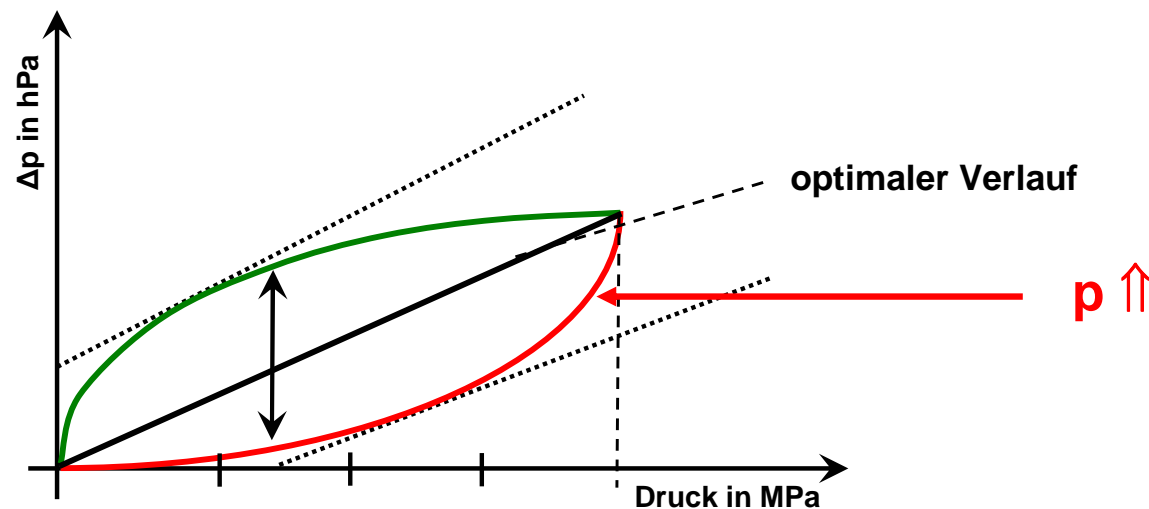
Druckmessung

Genauigkeiten

(Linearität / Temperaturkoeffizient / Hysterese)

Unter Hysterese versteht man i. d. R. das Fortdauern einer Wirkung bedingt durch deren Geschichte bzw. Weg.

Bei der Druckmessung zeigt das Druckmessgerät auf Grund der Hysterese bei gleichem „Messpunkt“ und einer Druckerhöhung einen anderen Wert an als bei einer Druckerniedrigung.



Quelle: U. a. <http://de.academic.ru/dic.nsf/dewiki/354700>, <http://www.testo.de>