



Rund um die Messgröße Druck



0980.3053/oa/R/08.2002

Testo AG

Postfach 1140, 79849 Lenzkirch
Testo-Straße 1, 79853 Lenzkirch

E-Mail: info@testo.de
Internet: <http://www.testo.de>

Testo Info: 01805 / 8 37 86 46 36*
Testo Fax: 01805 / 8 37 86 32 9*

* 6 cent je angefangene 30 Sek.

Vorwort

Die physikalische Messgröße Druck ist neben der Temperatur eine der wichtigsten und meist gemessenen Meßgrößen für Anwendungen in Forschung und Technik.

Eine Vielzahl von Meßaufgaben ist für ein breites Spektrum an Anwendungen im Lebensmittelbereich, in der Heizungs-, Sanitär-, Klimabranche, in der Kraftwerks- und Energietechnik, Prozess- und Verfahrenstechnik uvm. unverzichtbar geworden.

Bei allen Anwendungen im Bereich der Druckmessung gibt es einige wichtige Parameter zu beachten um verlässliche Ergebnisse zu erhalten.

Basis einer Messung bilden neben der Kenntnis der verschiedenen Einheiten auch Kenntnisse über die verschiedenen Druckarten und deren Definition.

Die Fibel behandelt in erster Linie Zusammenhänge rund um die elektronischen Druckmessverfahren.

Das Ziel dieser Praxishilfe ist sowohl Einsteigern einen Überblick über die relevanten Parameter zu ermöglichen als auch für Messprofis ein Nachschlagewerk zu sein.

Für Anregungen sind wir jederzeit dankbar und arbeiten diese in eine Neuauflage gerne ein.

Der Vorstand



Burkart Knospe



Wolfgang Hessler



Martin Schulz

Seite Inhalt

6	I.	Definition des Druckes
6	II.	Einheiten <ol style="list-style-type: none"> 1. Si Einheit 2. Über die Einheiten
7	III.	Umrechnungstabelle
8	IV.	Druckarten und deren Definition/Basis <ol style="list-style-type: none"> 1. Absolutdruck = p_{abs} 2. Überdruck 3. Unterdruck 4. Differenzdruck = $^3 p$ 5. Atmosphärischer Luftdruck = p_{amb} 6. Druckmessgeräte und ihre Anwendungsbereiche
10	V.	Druckmessverfahren <ol style="list-style-type: none"> 1. Verschiedene Flüssigkeitsdruckmessgeräte <ul style="list-style-type: none"> – U-Rohr-Manometer – Schrägrohrmanometer – Schwimmermanometer 2. Federelastische Druckmessgeräte 3. Elektrische Druckmessverfahren
13	VI.	Vorteile elektrischer Druckmessgeräte
13	VII.	Beschreibung des Testo-Messprinzips <ol style="list-style-type: none"> 1. Druckmessung nach dem piezoresistiven Prinzip 2. Induktive Druckmessung
15	VIII.	Druck und Temperatur

Seite Inhalt

17	IX.	Genauigkeiten <ol style="list-style-type: none"> 1. Das richtige Gerät für die jeweilige Anwendung 2. Linearität 3. Temperaturkoeffizient 4. Hysterese
20	X.	Ablauf einer Messung
20	XI.	Überlast versus statischer Druck
22	XII.	Messen in Flüssigkeiten <ol style="list-style-type: none"> 1. Statischer Vordruck 2. Druckmessung in Flüssigkeiten
25	XIII.	Welche Gase können gemessen werden?
6	XIV.	Druckschläge
27	XV.	Strömungsmessung mit Staurohr <ol style="list-style-type: none"> 1. Bestimmen der Luftdichte 2. Fehlerquellen bei der Staurohrmessung 3. Strömungsmessung über 100 m/s 4. Vorteile der Strömungsmessung mittels Differenzdruckmessgerät und Staurohr
34	XVI.	Kalibrierung
36	XVII.	Einige Applikationen

$$\text{Druck } p = \frac{\text{Kraft } F}{\text{Fläche } A}$$

I. Definition des Druckes

Druck wird definiert durch eine Kraft (F) die auf eine Fläche (A) einwirkt.

II. Einheiten

Mit SI-Einheiten bezeichnet man die Basiseinheiten des internationalen Einheitensystems. Der Name kommt vom Französischen „Système International d' Unités.“ Das SI wurde von der Allgemeinen Konferenz über Gewichte und Masse (begründet durch den Meter-Vertrag am 20. Mai 1875) etabliert. Verwaltet und fortgeschrieben wird das System heute vom Bureau International des Poids et Mesures in Sèvres (Frankreich). Sowohl die International Standardization Organization (ISO) als auch die International Union of Pure and Applied Physics (IUPAP) stellen internationale Empfehlungen für den Gebrauch des SI zusammen, die auf nationaler Ebene dann verbindlich festgelegt sind. Das Gesetz über Einheiten im Messwesen ist in Deutschland die Rechtsgrundlage für die Angabe physikalischer Größen in gesetzlichen Einheiten. Es verpflichtet zu ihrer Verwendung im geschäftlichen und amtlichen Verkehr. "Hüterin" der Einheiten in Deutschland ist die PTB.

Die Ausführungsverordnung zum Gesetz über Einheiten im Messwesen (Einheitenverordnung) verweist auf die Norm DIN 1301. In der Anlage zur Einheitenverordnung sind die gesetzlichen Einheiten in alphabetischer Reihenfolge aufgeführt.

Das Pascal.

Sie kann aus den SI-Einheiten Meter und Newton abgeleitet werden. $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$. In der Meteorologie wird der Druck meist in hPa angegeben. Diese Einheit hat das früher gebräuchliche mbar abgelöst. Pascal wurde nach Blaise Pascal (1623 - 1662) benannt, einem französischen Mathematiker und Naturwissenschaftler. In industriellen Applikationen wird sehr häufig die Einheit bar, kPa oder MPa verwendet.

Da das Pascal eine sehr kleine Druckeinheit darstellt wird es hauptsächlich bei Druckmessungen in Reinräumen verwendet. Aber auch bei Strömungsmessungen in Verbindung mit einem Staurohr wird mit der Einheit Pa gemessen (siehe auch Punkt 14)

$$1 \text{ Pa} = \frac{1 \text{ N}}{\text{m}^2} \text{ wobei } 1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Das hPa (= mbar) findet hauptsächlich Anwendung in der Meteorologie, aber auch in der Industrie und im Handwerk.

$$750 \text{ micron} = 1 \text{ hPa}$$

Die Einheiten bar, kPa, MPa sind die Standardeinheiten in der industriellen Druckmesstechnik.

Mit mmH₂O wird fast nicht mehr gemessen

In der Medizintechnik findet die Einheit mmHg ihren häufigsten Einsatz. Der Blutdruck wird z.B. in mmHg gemessen.

Das micron ist die kleinste Einheit (750 micron = 1 hPa) und wird hauptsächlich beim Vakuumieren, z.B. von Kälteanlagen, verwendet.

Angelsächsische Einheiten:

- psi (pounds per square inch)
- inH₂O (inches of water)
- in Hg (inches of mercury)

Die älteren Einheiten Torr, atü, ata, atu, atm und kp/cm² sind nicht mehr gebräuchlich und dürfen nach dem Einheitengesetz im geschäftlichen und amtlichen Verkehr nicht mehr verwendet werden.

III. Umrechnungstabelle

	Pa	hPa/mbar	kPa	MPa	bar	psi	mmH ₂ O	inH ₂ O	mmHg	inHg
Pa	1	100	1.000	1.000.000	100.000	6.895	9.807	249,1	133,3	3.386
hPa/mbar	0,01	1	10	10.000	1.000	68,948	0,09807	2,491	1,333	33,864
kPa	0,001	0,1	1	1.000	100	6,895	0,009807	0,2491	0,1333	3,386
MPa	0,000001	0,0001	0,001	1	0,1	0,006895	0,00009807	0,0002491	0,0001333	0,003386
bar	0,00001	0,001	0,01	10	1	0,0689	0,00009807	0,002491	0,001333	0,0339
psi	0,0001451	0,0145	0,14505	145,05	14,505	1	0,001422	0,0361	0,0193	0,4912
mmH ₂ O	0,102	10,2	102	102.000	10.200	704,3	1	25,4	13,62	345,9
inH ₂ O	0,004016	0,4016	4,016	4.016	401,6	27,73	0,0394	1	0,5362	13,62
mmHg	0,007501	0,7501	7,501	7.501	750,1	51,71	0,0734	1,865	1	25,4
inHg	0,0002953	0,0295	2953	295,3	29,35	2,036	0,002891	0,0734	0,0394	1

Die Tabelle ist von oben nach unten zu lesen, d. h. zum Beispiel $1 \text{ Pa} = 0,01 \text{ hPa/mbar}$

IV. Die Druckarten

Druckmessungen vergleichen einen aktuellen Druck mit einem Referenzdruck. In der Druckmesstechnik werden die folgenden Druckarten unterschieden, die eine Aussage über die Beziehung vom Messdruck zum Referenzdruck zulassen.

Der Absolutdruck bezieht sich auf den luftleeren Raum des Universums (Druck Null).

Absolutdruck:

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

Überdruck:

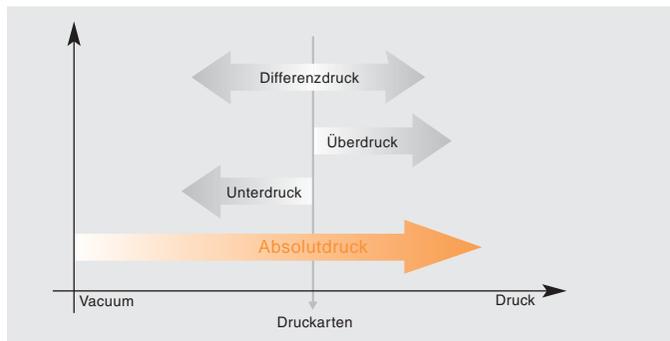
- gemessener Druck über dem barometrischen Tages-Luftdruck
- Referenz Umgebungsdruck
- Messdruck immer größer als Referenzdruck

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



P_{amb}

Hierbei handelt es sich um den wichtigsten Druck für das Leben auf der Erde. Der atmosphärische Druck entsteht durch das Gewicht der Lufthülle, welche die Erde umgibt. Die Lufthülle reicht bis zu einer Höhe von ca. 500 km. Bis zu dieser Höhe (absoluter Druck $p_{abs} = \text{Null}$) nimmt der Luftdruck ständig ab. Weiterhin wird der atmosphärische Luftdruck durch wetterbedingte Schwankungen beeinflusst. Im Mittel beträgt p_{amb} auf Meereshöhe 1013,25 hPa. Bei Hoch- oder Tiefdrucklagen des Wetters kann er bis zu $\pm 5\%$ schwanken.

Druckmessgeräte und ihre Anwendungsbereiche

Mit den sogenannten Differenzdruckmessgeräten kann sowohl ein Über- und Unter- sowie der Differenzdruck gemessen werden. Wichtig hierbei ist, den richtigen Druck auf den richtigen Anschluss zu geben. Also einen Überdruck auf den + und einen Unterdruck auf den - Anschluss. Bei richtigem Anschluss kann mit einem Differenzdruckmessgerät der gesamte Messbereich im positiven, als auch im negativen Bereich ausgeschöpft werden. Z.B. hat ein Gerät einen Messbereich von 0...200 hPa, so kann ein Überdruck, aber auch ein Unterdruck und ein Differenzdruck im Bereich 200 hPa gemessen werden.

Warum immer mit dem korrekten Druck auf den richtigen Anschluss ?

Gibt man auf ein Gerät einen Unterdruck und schließt diesen auf den + Anschluss, so zeigen einige Geräte einen Teil ihres Messbereiches mit einem - Vorzeichen an, sie bleiben jedoch nach einem bestimmten Wert stehen (zum einen um den Sensor zu schützen, zum anderen sind alle Drucksensoren nur im positiven Bereich abgeglichen). Wenn der Anwender dieses nicht berücksichtigt, geht er in der Folge von falschen Messwerten aus. Wieder andere Geräte zeigen nach einem gewissen Messwert "out of range" auf dem Display an.

Mit den Absolutdruckmessgeräten kann der barometrische Druck gemessen werden. Hierbei gibt es zwei Arten von barometrischem Absolutdruck. Zum einen den auf die jeweilige Höhe bezogenen Druck, zum anderen den auf Meereshöhe umgerechneten Absolut-

druck. Der umgerechnete Absolutdruck wird hauptsächlich in der Meteorologie eingesetzt um Vergleichbarkeit zu gewährleisten. Bekannt ist der Durchschnittswert, bezogen auf Meereshöhe: 1013,25 hPa. Alle Werte darüber bedeuten Hochdruck, darunter Tiefdruck. Mit einem Absolutdruckmessgerät kann auch an das Vakuum (gegen Druck = 0) gemessen werden. Ein Absolutdruckmessgerät hat immer nur einen Schlauchanschluss und kann nicht genullt werden.

V. Druckmessverfahren

Die wohl ursprünglichste Art Drücke zu messen sind die Flüssigkeitsdruckmessgeräte. Hierbei wird der zu messende Druck mit der Höhe einer Flüssigkeitssäule verglichen. Je nach zu messendem Druck werden unterschiedliche Flüssigkeiten eingesetzt.

Bei 1 m Höhe ergeben sich folgende Messwerte:

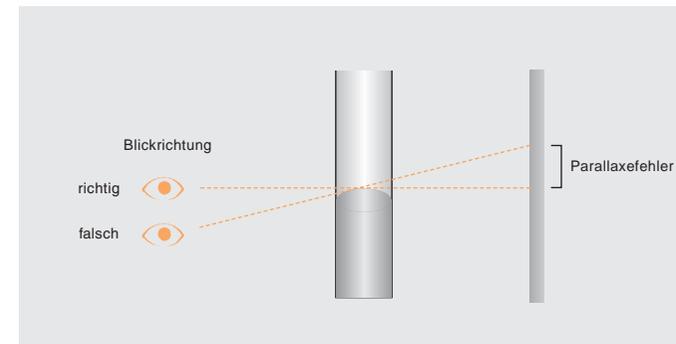
- Alkohol 78,5 hPa
- Wasser 98,1 hPa
- Quecksilber 1334,2 hPa

Man sieht also, dass sich Flüssigkeitsdruckmessgeräte hauptsächlich für kleinste und kleine Über-/Differenzdrücke eignen.

Die Messungen mit diesen Druckmessgeräten sind zwar relativ zuverlässig, jedoch müssen einige wichtige Parameter beachtet werden.

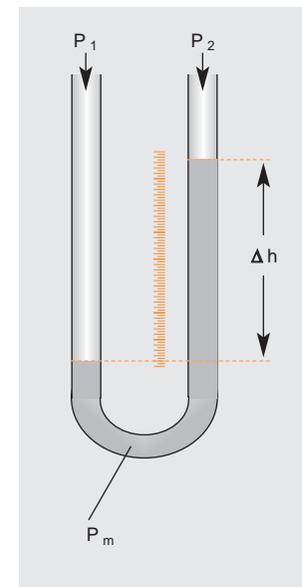
- Man muss auf eine absolut waagerechte Anbringung achten, da bereits leichte Abweichungen verfälschte Messergebnisse zur Folge haben.
- Das Handling bei portablen Messungen ist nicht optimal. An jedem Messort müssen die Flüssigkeiten neu eingefüllt und das Manometer neu einjustiert werden. Je nach Flüssigkeit muss hierbei sehr vorsichtig agiert werden (z.B. Quecksilber ist bereits in geringen Konzentrationen extrem toxisch und wird aus diesem Grunde fast nicht mehr eingesetzt).
- Durch die verschiedene Dichte der Flüssigkeiten dürfen diese niemals gemischt werden!!!
- Um einen Parallaxefehler zu vermeiden muss der Messwert absolut waagrecht abgelesen werden.

Parallaxefehler

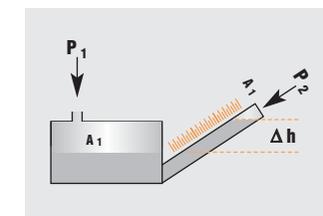


Einige Beispiele für Flüssigkeitsdruckmessgeräte.

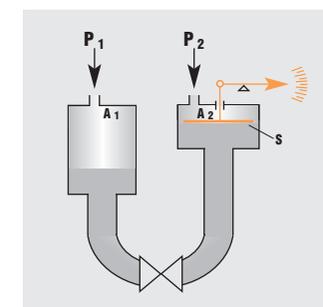
U-Rohr-Manometer



Schwimmermanometer



Schrägrohrmanometer



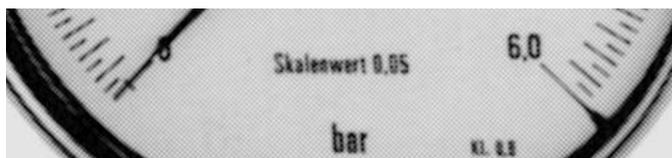
Der mechanische Manometer

Nachdem im Zuge der industriellen Revolution (zu Beginn des 19. Jahrhunderts) höhere Druckbereiche gemessen werden mussten (z.B. durch die Einführung der Dampfmaschine) und die Flüssigkeitsdruckmessgeräte vom Messbereich und der mechanischen Belastung (Vibrationen) nicht mehr ausreichten, mussten neue Arten von Druckmessgeräten entwickelt werden. Es entstand das mechanische Manometer. Im Manometer wird eine Feder durch einen beaufschlagten Druck verformt. Mittels dieser Verformung kann ein Zeigerwerk bewegt und auf einer Skala der entsprechende Druckwert abgelesen werden. In der Praxis kommen verschiedene Federn zum Einsatz (z.B. Rohrfedern, Wellrohrfedern, Membranfedern etc.). Der Messweg der Feder kann von wenigen Zehntel mm bis max. 10 mm liegen.



Mechanische Manometer zeichnen sich durch eine einfache Bedienbarkeit und Robustheit aus. Auch die Herstellung ist relativ kostengünstig. Jedoch weisen sie einige Nachteile auf: Durch die mechanische Verformung besteht die Gefahr, dass durch Materialermüdungen die Feder nicht in ihre Ursprungsposition zurückgelangt. Die Rückkehrfunktion der Feder in ihre ursprüngliche Position wird auch mit Hysterese bezeichnet (siehe Punkt 9.4). Mit den mechanischen Manometern kann nur der Relativ/Überdruck oder Absolutdruck (je nach Variante) gemessen werden. Auch liegt die Klasse (Genauigkeit) meist im Bereich von 1 %fs (siehe auch Punkt 9), d.h. die Messungen sind nicht sonderlich genau.

Informationen auf dem Zifferblatt.



Weitere Druckmessverfahren sind:

- Druckwaagen
- Kolbendruckmessgeräte
- Kolbendruckwaage

Im Bereich der elektrischen Druckmessverfahren kommen hauptsächlich folgende Prinzipien, Verfahren zum Einsatz.

- piezoresistiv
- Foliendehnungsmessstreifen
- Dickschichtdehnungsmessstreifen
- Dünnfilmdehnungsmessstreifen
- kapazitiv
- Induktiv
- piezoelektrisch

VI. Vorteile elektrischer Druckmessgeräte

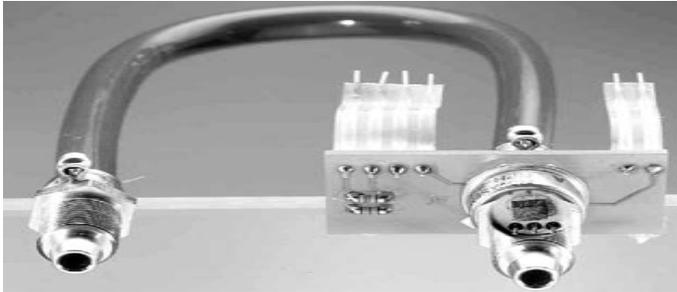
- hohe Genauigkeit (bis Klasse 0,05)
- sehr gutes Hystereseverhalten (geringe Verformung des Sensors)
- gute Reproduzierbarkeit
- viele Einheiten im Gerät integriert (weltweiter Einsatz)
- Datenaufzeichnung = > Dokumentation
- Dämpfung
- einfaches Handling

VII. Beschreibung des Testo-Messprinzips

In der Praxis und speziell bei Testo haben sich das "piezoresistive Prinzip" und "induktive Druckmessung" durchgesetzt.

Die piezoresistive Druckmessung.

Bei dem piezoresistiven Prinzip besteht das Messelement aus einem Siliziumchip, auf den mehrere Widerstände (zumeist 4 – 6 Stück) aufgeätzt sind. Wird der Siliziumchip mit Druck beaufschlagt, so verformt er sich (nur wenige mm => dadurch ergibt sich auch ein sehr gutes Hystereseverhalten). Durch diese Verformung ändern sich die Werte der Widerstände und somit kann auf den anstehenden Druck zurückgerechnet werden.



Die Vorteile:

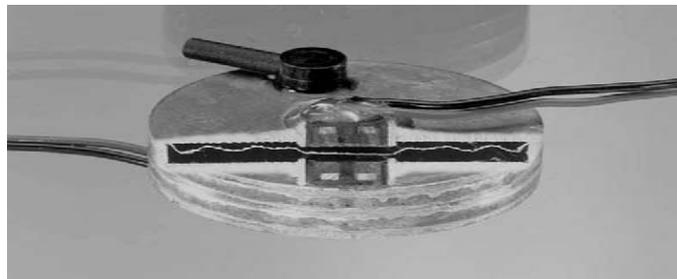
- Kleine Sensorbauform
- sehr gutes Hystereseverhalten
- hohe Genauigkeit

Die Nachteile:

- durch kleine Bauform relativ anfällig gegen Temperaturschwankungen (Sensor sollte temperaturkompensiert sein)

Das induktives Wegeaufnahmeverfahren.

Beim induktiven Wegeaufnahmeverfahren werden zwei Druckmesszellen aus Kupfer-Berillium eingesetzt. Kupfer-Berillium zeichnet sich durch ein sehr gutes dynamisches Verhalten und eine hohe Elastizität aus. Die zwei Messzellen werden nun aufeinander angebracht (eine für Über-/ die andere für Unterdruck). Sobald sie mit einem Druck beaufschlagt werden dehnt sich die Messzelle aus. Diese Ausdehnung wird nun mittels eines induktiven Wegstreckmessers gemessen, d.h. die Ausdehnung der Druckmesszelle wird gemessen.



Die Vorteile:

- gute Genauigkeit
- gutes elastisches Verhalten der Druckmesszelle (gute Hysterese)
- Temperaturschwankungen haben relativ wenig Einfluss auf die Messung

Die Nachteile:

- relativ große Bauform des Sensors

VIII. Druck und Temperatur

Die zwei Messgrößen Druck und Temperatur stehen in direktem Zusammenhang.

Hierzu eine kurze Betrachtung vom Druck in Gasen.

Moleküle in Gasen bewegen sich in einem abgeschlossenen Drucksystem regellos hin und her. Wenn diese Moleküle nun auf die Wände des Drucksystems prallen entsteht ein Druck. Solange die Temperatur konstant bleibt, bleibt auch der Druck konstant. Wird das Gas nun erhitzt, so erhöht sich die Geschwindigkeit der Moleküle und der Druck im System steigt an (die Moleküle treffen mit einer höheren Geschwindigkeit auf die Wände des Systems => Expansion). Wird ein Gas abgekühlt verhält es sich umgekehrt, der Druck sinkt.

Gase lassen sich im Vergleich zu Flüssigkeiten oder festen Körpern stark komprimieren.

Im Bereich der elektronischen Druckmessgeräte spielt der Einfluss der Temperatur auf die Elektronik eine weiter wichtige Rolle. Die Signale elektronischer Bauteile verhalten sich bei verschiedenen Temperaturen unterschiedlich. In der Praxis werden die Druckmessgeräte meist temperaturkompensiert. Die Temperaturkompensation ist sehr wichtig, wenn Datenaufzeichnungen (Loggerfunktion) vorgenommen werden.

Hierzu ein Beispiel:

Annahme: In einem Produktionsbetrieb ohne Nachtschicht, d.h. der Betreib steht nachts still, findet ein Störfall in einer Anlage mit angekoppeltem Druckmesssystem statt. Aus Kostengründen wird die Beheizung des Betriebes nachts nach unten geregelt. Eine an das System angeschlossene Drucksonde führt eine Langzeitaufzeichnung durch. Der Druck im System wird mittels eines Kompressors konstant gehalten.

Was zeichnet nun das Druckmessgerät auf, bzw. was zeigt es an?

Gerät 1 = nicht temperaturkompensiert

Das Gerät zeigt mit zunehmender Abkühlung des Raumes einen Rückgang der Werte an. Sobald am Morgen die Heizung den Raum wieder erwärmt, zeigt das Gerät wieder einen ansteigenden Druckwert, solange bis eine konstante Raumtemperatur erreicht ist. Dies obwohl der Druck im System permanent konstant geblieben ist.

Gerät 2 = temperaturkompensiert

Das Gerät zeigt den tatsächlichen (permanent gleichen) Wert im System an, obwohl sich die Umgebungstemperaturen geändert haben.

Fazit: Um eine Langzeitüberwachung durchzuführen sollte das Druckmessgerät unbedingt temperaturkompensiert sein. Wird nur ein kurzer Check, bzw. eine kurze Messung eines Drucksystems durchgeführt, so ist es nicht nötig eine Offset-Temperaturkompensation zu haben, da das Gerät vor der Messung genullt wird und somit Temperatureinflüsse nicht zum Tragen kommen.

Achtung: Extreme Temperaturunterschiede, wie sie z.B. im Winter vorkommen können (Gerät lag ganze Nacht bei z.B. -10 °C im Auto und wird dann in einen Raum mit 20 °C zur Messung gebracht) können auch durch eine optimale Temperaturkompensation nicht ausgeglichen werden. Hier muss das Gerät unbedingt über einen längeren Zeitraum (je nach Temp.-Unterschied ca. 0,5 h) der Temperatur angeglichen werden. Optimal lässt man das Gerät eingeschaltet, drucklos angleichen.

Eine Temperaturkompensation ist eine sehr aufwendige und kostenintensive Angelegenheit, da die Geräte im Klimaschrank bei 2 – 3 Temperaturen abgeglichen werden. Bis die Temperaturen im Klimaschrank stabil stehen dauert es doch einige Zeit.

IX. Genauigkeit (Einflussfaktoren)

Die Genauigkeit von Druckmessgeräten wird in den meisten Fällen in Klassen angegeben. So bedeutet Klasse 1,0 = Genauigkeit 1% vom Messbereich (fs = full scale oder v. Ew. = vom Endwert oder fv = final value).

Beispiel:

Differenzdruckmessgerät mit Messbereich 1000 hPa, Klasse 1 => Genauigkeit absolut $\pm 10\text{ hPa}$.

Wichtig ist zu beachten, auf welche Basis ein Hersteller seine Genauigkeit bezieht. Hierbei gibt es zwei Varianten:

v. Ew. = vom Endwert (fs / fv)

v. Mw. = vom Messwert

In der Druckmessung gibt es nicht das eine Gerät für alle Anwendungen. Dies liegt in der Klasse begründet. Da der Fehler in % v. Ew. angegeben wird steigt der absolute Fehler mit zunehmendem Messbereich an. Dies bedeutet, dass wenn die meisten Anwendungen im kleinen hPa-Bereich liegen und nur sporadisch einmal höhere Drücke gemessen werden, ein Messgerät mit einem hohen Messbereich das falsche wäre. Denn da der absolute Fehler beim hohen Messbereich relativ hoch liegt, ist der Messfehler in den niederen Druckbereichen viel zu groß (siehe Grafik "Das richtige Gerät für die Anwendung"). Eine Alternative für diese Fälle sind im eingeschränkten Bereich noch Geräte mit umschaltbarem Messbereich. Hierbei wird der Endwert auf zwei Messbereiche aufgeteilt. Jedoch hat bei diesen Geräten einer der beiden Messbereiche eine höhere Klasse und der andere eine niedrige (Beispiel: testo 520 kleiner Messbereich Klasse 0,5; großer Messbereich Klasse 0,2). Somit kann es vorkommen, dass für genaue Messungen im kleinen wie im großen Messbereich zwei oder mehrere Messgeräte zum Einsatz kommen müssen.

Die Genauigkeit setzt sich aus folgenden Parametern zusammen.
 Linearität / Temperaturkoeffizient / Hysterese

Messdruck	*testo 525 (0 ... 200hPa)		*testo 525 (0 ... 7 bar)	
	Abweichung	Abw. % v. Mw.	Abweichung	Abw. % v. Mw.
10 hPa	0,4 hPa	4 %	14 hPa	140 %
20 hPa	0,4 hPa	2 %	14 hPa	70 %
50 hPa	0,4 hPa	0,80 %	14 hPa	28 %
100 hPa	0,4 hPa	0,40 %	14 hPa	14 %
150 hPa	0,4 hPa	0,27 %	14 hPa	9,33 %
200 hPa	0,4 hPa	0,20 %	14 hPa	7,0 %
500 hPa	out of range	0,20 %	14 hPa	2,8 %

Das Beispiel zeigt, dass bei der Wahl des falschen Gerätes im Bereich 10 hPa ein möglicher Messfehler von 140 % auftreten kann. Bei 20 hPa sind es immer noch 70 % Messfehler.
*Genauigkeit: 0,2% v.E.

Linearität

Bei der Linearität handelt es sich um den Wert der maximalen Abweichung der Kennlinie von der idealen Geraden durch Null- und Endpunkt.

Ist ein Druckmessgerät nicht temperaturkompensiert (oder nur in einem eingeschränkten Temperaturbereich) so gibt der Hersteller den Temperaturkoeffizienten an. So lautet die Angabe für das testo 512 z.B. $\pm 0,04\%$ v Ew / K bezogen auf eine Nenntemperatur von 25°C.

Was bedeutet dies nun?

Das testo 512 hat eine Genauigkeit von Klasse 0,5 bei 25°C. Wir nehmen hier exemplarisch den Messbereich 0...20 hPa. Somit hat das Gerät einen absoluten Fehler von $\pm 0,1$ hPa bei 25°C. Verändert sich nun diese Temperatur um 2K (von 25°C auf 27°C) so kommt zu diesem absoluten Fehler noch der Temperaturfehler von $\pm 0,0016$ hPa.

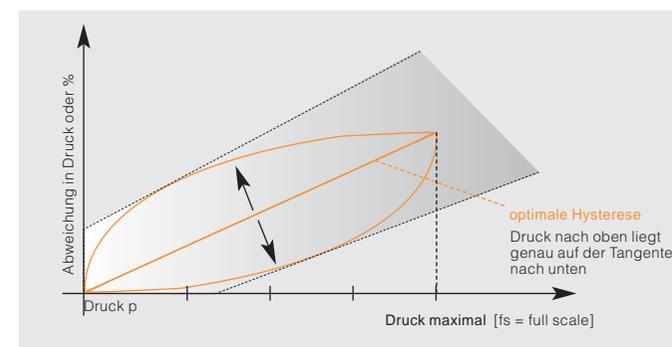
Wird ein Sensor mit Druck beaufschlagt, so verbiegt er sich. Das Maximum an Ausdehnung sollte er beim Messbereichsendwert erreichen (lässt man einmal die Überlast unberücksichtigt). Nimmt man diesen Druck wieder vom Sensor, so sollte ein funktionstüchtiger Sensor wieder in seine Ursprungsform (auf den Nullpunkt) zurückkommen. Oder um den Sachverhalt besser zu verdeutlichen: dehnt man eine Feder bis zu Ihrem Maximum und lässt diese Dehnung wieder nach so sollte die Feder wieder ihren Ursprungszustand einnehmen.

Hysterese

Technisch bedeutet Hysterese den Unterschied des Ausgangssignales eines Druckes auf dem Weg zum Messbereichsendwert und zurück.

Bei der Druckmessung kann das Gerät auf Grund der Hysterese beim gleichen Messpunkt auf dem Weg nach oben (Richtung Messbereichsendwert) einen anderen Wert anzeigen, als auf dem Weg nach unten (Richtung Nullpunkt).

Ist in den technischen Daten eines Messgerätes nur eine Genauigkeit angegeben, so sind in der Regel alle beschriebenen Parameter beinhaltet.



Anmerkung:

In Datenblättern angegebene Genauigkeiten sind immer nur "worst case" Angaben. Das bedeutet, dass das Gerät diesen Fehler aufweisen kann, aber nicht zwangsläufig aufweisen muss. Möchte man hochgenaue Messungen vornehmen, so empfiehlt es sich das Gerät kalibrieren zu lassen (siehe auch Punkt 17), damit man die reelle absolute Abweichung des eingesetzten Messgerätes kennt. Bei manchen Geräten wird bei der Neulieferung bereits ein Kalibrierprotokoll mitgeliefert (z.B. testo 520/525).

X. Ablauf einer Messung

- Temperaturangleich (am besten bei laufendem Gerät)
- Gerät drucklos Nullen
- Gerät an Drucksystem anschließen (richtiger Druck auf richtigen Anschluss => großer Druck (bzw. Überdruck) auf + / kleinerer Druck (Unterdruck) auf -
- Messen

XI. Überlast versus statischer Druck

Jedes Druckmessgerät akzeptiert eine Überlast. Die Überlast wird entweder in einem absoluten Wert (z.B. 1000 hPa) oder einem vielfachen des Messbereiches angegeben (z.B. 2-fach = Messbereich 1000 hPa => Überlast = 2000 hPa). Unter Überlast versteht man den Maximaldruck (Überdruck), welcher auf einen Anschluss gegeben werden kann ohne, dass der Sensor Schaden nimmt. Wird die Überlast überschritten, so ist der Sensor "überdrückt" und irreparabel defekt.

Der statische Druck eines Messgerätes kann wesentlich höher als die Überlast sein. Der statische Druck muss zur gleichen Zeit auf beide Anschlüsse des Druckmessgerätes geleitet werden.

Wo treten hohe statische Drücke auf?

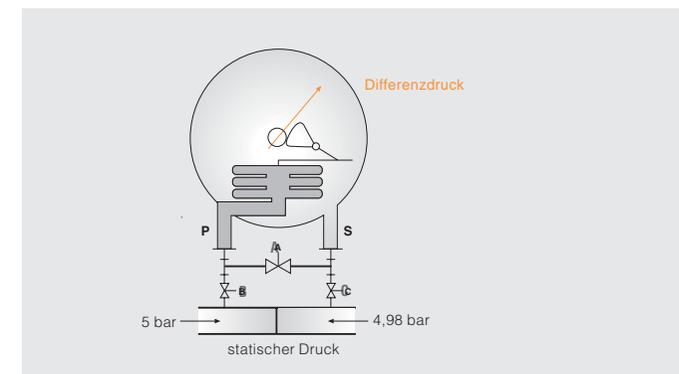
Ein gutes Beispiel hierfür sind Drucksysteme bei denen die Durchströmung gemessen werden soll. Um eine geringe Strömung (m/s) messen zu können, benötigt man ein Druckmessgerät mit einem relativ kleinen Messbereich (Fehler). Was jedoch tun, wenn im Drucksystem ein statischer Druck von z.B. 7 bar herrscht? Würde man

hier ein Messgerät mit einem Messbereich von 0...7 bar und einer Klasse von 0,1 einsetzen, so würde sich bei einer Strömung von 10 m/s ein maximaler Fehler von $\pm 54,11$ m/s ergebe. Dieser Wert ist absolut indiskutabel !

Man sieht also der Messbereich von 7 bar ist viel zu hoch dimensioniert. Aber was tun? Hier muss ein Messgerät mit kleinem Messbereich zum Einsatz kommen, welches jedoch einem hohem statischen Druck anhalten kann. Machen wir die gleiche Berechnung wie vorher, jedoch nun mit einem testo 525 Messbereich 0...25 hPa und einer Klasse 0,1. Dieses Messgerät akzeptiert auch im kleinsten Messbereich von 25 hPa einen statischen Druck von maximal 7 bar. Der maximale Fehler bei einer Strömung von 10 m/s liegt hier jedoch bei nur $\pm 0,1933$ m/s.

Wie bringt man nun den statischen Druck zur gleichen Zeit auf beide Anschlüsse?

1. Man macht das System drucklos, schließt das Messgerät an (bzw. führt das Staurohr in das System ein) und fährt den Druck dann gleichmäßig auf Betriebsdruck.
2. Sollte das System nicht einfach drucklos gemacht werden können, gibt es die Möglichkeit einen Bypass zu installieren:

Bypass:


Regler A wird geöffnet. Regler B und C sind geschlossen. Nun wird Regler B geöffnet. Der gesamte statische Druck liegt jetzt am Sensor an. Nun wird Regler C geöffnet und A geschlossen. Somit liegt auf der Seite nach der Verengung nun der reduzierte Druck an. Es kann jetzt der Differenzdruck gemessen werden.

Wichtig: Nach Ende der Messung muss im umgekehrten Sinne vorgegangen werden, da ansonsten der Sensor zerstört würde.

XII. Messen in Flüssigkeiten

Bei Druckmessungen in Flüssigkeiten ist darauf zu achten, dass sich das Messgerät in Höhe der Messstelle befindet. Ist das Messgerät niedriger als die Messstelle platziert, zeigt es einen höheren Wert an; ist es höher zeigt es einen kleineren Wert an. Dies liegt daran, dass die Gewichtskraft des Wassers zum eigentlichen Systemdruck hinzukommt.

Sollte eine Höhendifferenz unvermeidbar sein, so kann mit folgender Formel die Druckdifferenz berechnet werden:

$$\Delta p = (\rho_F - \rho_L) \times g \times \Delta h \times 10 \text{ (bar)}$$

Δp = Differenz des Messbereiches (bar)

ρ_F = Dichte der Flüssigkeit (kg/m³)

ρ_L = Dichte der Luft (1,205 kg/m³)

g = Erdbeschleunigung (9,81 m/s²)

Δh = Höhenunterschied (m)

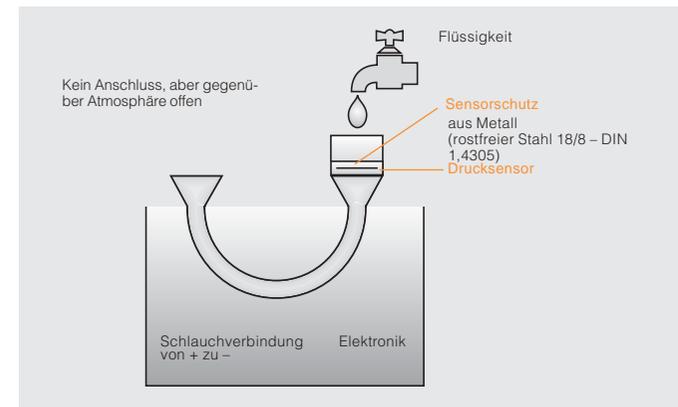
Prinzipiell dürfen piezoresistive Sensoren nicht direkt mit Flüssigkeiten beaufschlagt werden. Da der Sensor offen (nicht gekapselt) ist würde sich ein Kurzschluss ergeben, der Sensor könnte zerstört werden. Will man nun dennoch Messungen in Flüssigkeiten durchführen, so hat man zwei Möglichkeiten:

Möglichkeit 1: Kurzzeitmessungen bei relativ niedrigen Drücken.

Hierbei muss ein relativ langer Schlauch verwendet werden. Dieser lange Schlauch sollte in der Form eines U angeordnet sein.

Warum?

Bei der Verwendung eines langen Anschluss-Schlauches wird vor der Flüssigkeit Luft im Schlauch eingeschlossen. Diese drückt auf den Sensor und gefährdet ihn nicht. Nach einer gewissen Zeit jedoch diffundiert die Flüssigkeit jedoch durch die eingeschlossene Luft und dringt zum Sensor vor. Ordnet man den Schlauch in U-Form an bleibt die Flüssigkeit (da sie schwerer als Luft ist) im unteren Bereich des U.



Möglichkeit 2: Messung (Langzeit) bei hohen Drücken.

Hierzu kann entweder ein medienkompatibles Messgerät benutzt werden oder ein Adapter (Druckwandler) auf das Messgerät aufgesetzt werden.

Medienkompatible Messgeräte:

Bei diesen Geräten können alle Flüssigkeiten, die kompatibel mit rostfreiem Stahl 18/8 (DIN 1.4305) sind, direkt auf den Sensor geleitet werden. Der Sensor ist gekapselt, bzw. wird durch den Stahl geschützt. Mit den medienkompatiblen Geräten kann jedoch nur Überdruck gemessen werden (nur ein Druckanschluss; anderer Anschluss ist geräteintern offen gegenüber Umgebungsdruck).

Durch die Bauform von piezoresistiven Sensoren ist es nicht möglich beide Anschlüsse gleichzeitig zu kapseln, da sich die Elektronik direkt hinter dem Sensor befindet.

Messen mit einem, bzw. zwei Adaptern.

Auf manche Druckmessgeräte kann ein Adapter aufgesteckt werden. In diesem Adapter befindet sich eine Trennmembran die die Flüssigkeit vom Sensor zurückhält. Zu beachten ist, dass solche Adapter nicht beliebig zu jedem Gerät passen.

Warum ist das so?

Wird der Adapter auf ein Druckmessgerät aufgesteckt, so wird ein genau definiertes Totvolumen an Luft eingeschlossen. Wird nun die Trennmembran mit Flüssigkeitsdruck beaufschlagt, verformt sich die Membran, komprimiert das Totvolumen an Luft und drückt auf den Sensor. Stimmt nun dieses Totvolumen nicht genau mit dem Gerät überein, so werden zum einen falsche Messwerte angezeigt, zum anderen kann der Messbereichsendwert des Messgerätes nicht erreicht, bzw. überschritten werden.

Sehr wichtig: Vor der Messung immer zuerst den Adapter in drucklosem Zustand auf das Messgerät aufstecken, dann erst mit Druck beaufschlagen.



Adapter

Der Einsatz von Adaptern bietet den Vorteil, dass das Messgerät sowohl zur Messung in Gasen, als auch zur Messung in Flüssigkeiten eingesetzt werden kann.

Möchte man nur den Überdruck messen, kommt ein Adapter zum Einsatz, möchte man einen Differenzdruck messen, setzt man zwei Adapter ein.

XIII. Welche Gase können gemessen werden?

Zu beachten ist insbesondere der Feuchtigkeitsgehalt von Gasgemischen, da dieser je nach Taupunkttemperatur zu Kondenswasserbildung führen kann. Kondenswasser und Schmutzpartikel können den Sensor beschädigen, bzw. zu falschen Messwerten führen!

Zulässig sind:

Gase (z.B. Argon, Xenon etc.)

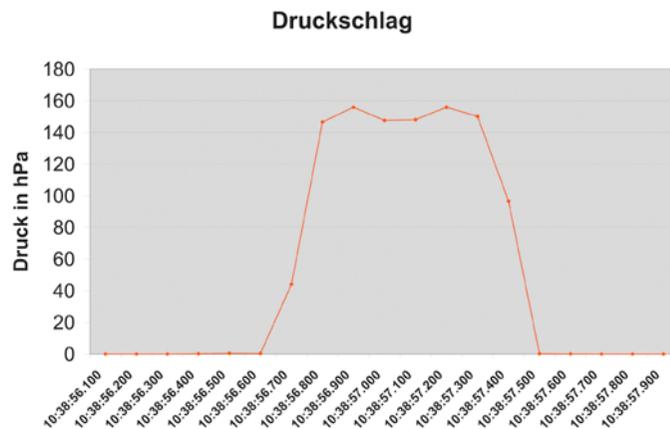
Instrumentenluft (trockene, saubere Luft)

O ₂	Sauerstoff
H ₂	Wasserstoff
N ₂	Stickstoff
O ₂ /N ₂	Sauerstoff/Stickstoff-Gemisch
CO ₂ /N ₂	Kohlendioxid/Stickstoff
CO/N ₂	Kohlenmonoxid/Stickstoff
C ₃ /H ₈	Propan
He	Helium
H ₂ /He	Wasserstoff/Helium
NO/N ₂	Stickstoffmonoxid/Stickstoff
SF ₆	Schwefelhexafluorid

Erdgas (nicht zu feucht)

XIV. Druckschläge

Ab und zu müssen sogenannte Druckschläge gemessen werden. Die Besonderheit solcher Druckschläge ist, dass sie innerhalb von Zehntelsekunden auftreten. Somit benötigt man ein Gerät, welches sehr schnelle Messintervalle aufweist. Es nützt z.B. nichts, wenn ein Gerät ein kleinstes Speicherintervall von 1 Sekunde aufweist, da der Druckschlag innerhalb von Zehntelsekunden auftritt. Das Gerät muss mehrere Messungen / Sekunde machen und diese müssen auch aufgezeichnet werden können.



Druckschläge können auftreten in:

- Industrieabsauganlagen (hier werden die Filter mittels eines Druckschlages gereinigt).
- Druckstöße in Rohrleitungssystemen der Haustechnik
- Druckschläge beim Metallgießen
- Druckstöße in flüssigkeitsführenden Leitungen (entstehen häufig beim abschalten und anfahren von Pumpen)
- Druckstöße an Anlagen infolge schnellschließender Armaturen
- Druckschläge an Verdichtern von Kälteanlagen

Um Druckschläge zu messen und auszuwerten soll hier beispielhaft das testo 525 erwähnt werden. Das Messgerät macht 10 / 20

Messungen pro Sekunde. Mit der für das Gerät entwickelten Software können diese 10 / 20 Messungen/Sek. in einen Laptop übertragen und dort abgespeichert und weiterverarbeitet werden.

Tabelle [testhighspeed3.onl]	
	Druck
Maximalwert	1020.7
Mittelwert	1012.43
Minimalwert	1000.4
06.11.2001 - 15:53:38.000 #1	1004.9
06.11.2001 - 15:53:38.100 #2	1011.7
06.11.2001 - 15:53:38.200 #3	1010.8
06.11.2001 - 15:53:38.300 #4	1013.5
06.11.2001 - 15:53:38.400 #5	1018.4

XV. Strömungsmessung mit Staurohr

Mit einem Differenzdruckmessgerät und einem Staurohr kann die Luftströmungsgeschwindigkeit gemessen werden.



Das Messprinzip.

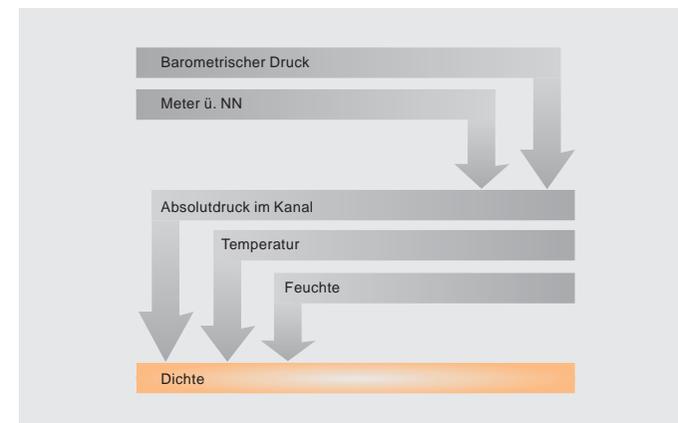
Der Staudruck entsteht an der Spitze des Rohres, wenn dieses entgegen der Strömungsrichtung gehalten wird. Zwei Schläuche verbinden das Staurohr mit dem eigentlichen Messwertempfänger; dem Drucksensor (Anschluss "a" auf den + Anschluss und Anschluss "b" auf den - Anschluss legen). Auf den Drucksensor werden zum einen die Summe aus dynamischen + statischem Druck und zum anderen der reine statische Druck übertragen. Der Drucksensor ermittelt die Differenz zwischen den beiden Drücken. Das Ergebnis ist der dynamische Strömungsdruck. Dieser steht nun in direkter Verbindung zur vorherrschenden Strömungsgeschwindigkeit. Bei bekannter Gasdichte reduziert sich die Umrechnung des Druckes in die Strömungsgeschwindigkeit auf die einfache Auswertung einer Wurzelfunktion der sogenannten Bernoulli-Gleichung (Daniel Bernoulli, Schweizer Mathematiker, 1700-1782).

$$v \text{ (m/s)} = \sqrt{\frac{2 \cdot p \text{ diff}}{\rho}}$$

v (m/s) = Strömungsgeschwindigkeit in m/s
 p diff = dynamischer Differenzdruck in Pa
 rho = Luftdichte in (kg/m³)

Die Luftdichte spielt bei der Staurohrmessung eine wichtige Rolle.

Faktoren für die Luftdichte.



Starke Einflussfaktoren auf die Luftdichte sind also:

- der absolute Luftdruck
- die Temperatur des Gases
- der Gehalt des Wasserdampfes (Feuchte)

Das Messen der Dichte ist sehr aufwendig. Der Anwender muss die dichtebestimmenden Parameter messen und die Dichte berechnen oder sie anhand von Tabellen bestimmen.

Zuerst ist sicherzustellen, dass das Messmedium Luft ist. Luft ist ein Gasgemisch mit konstanter Zusammensetzung. Die üblichen Schwankungen der Zusammensetzung haben auf das Messergebnis keinen wesentlichen Einfluß.

Im allgemeinen wird, wenn die Luftdichte nicht berechnet wird, mit der Normluftdichte von 1293 g/m³ gerechnet (Absolutdruck = 1013,25 hPa/mbar; Temperatur = 0°C; Luftfeuchte = 0%rF).

Fehler bei der Staurohrmessung

Zur Information: Der Wert bei 1013 hPa/mbar, Temperatur = 20°C, Luftfeuchte = 50% ist 1199g/m³

Falscher Luftdichtewert

Der Einfluß der einzelnen Parameter auf die Dichte erscheint plausibel. Kalte Luft ist schwerer; erwärmte Luft ist leichter. Ist die Luft wärmer als angenommen, so ist ihre Dichte zu gering, die errechnete Strömungsgeschwindigkeit zu schnell. Genau gleich verhält es sich, wenn die Luft feuchter als angenommen ist.

Wird die Luftdruckkorrektur bei einer Reise ins Gebirge vergessen, so nimmt der Druck und damit die Dichte ab. Hier wären die berechneten Werte der Strömungsgeschwindigkeit zu nieder.

Staurohr verstopft

Das Staurohr ist relativ einfach in der Pflege und Wartung. Im Gegensatz zur Flügelradsonde gibt es keine Lager die verschmutzen und keine Flügel die verbogen werden können. Jedoch sollte vor jeder Messung ein Sichttest (ist das Rohr geknickt? Gibt es sichtbare Beschädigungen?) und ein sogenannter Durchblase-Test (in die Anschlüsse a und b wird hineingeblasen und es wird gefühlt, ob am oberen Ende des Staurohres Luft ausströmt) durchgeführt werden.

Falsche Anordnung im Kanal

Ein weiterer wichtiger Faktor ist die Position des Staurohres im Kanal. Steht die Öffnung nicht genau in der Strömungsrichtung, so sind die Messergebnisse verfälscht. Da man im Kanal die Spitze nicht sehen kann, kann man den Anschluss b als Referenz nehmen. Er verläuft genau parallel zur Messspitze. Um nun die richtige Anströmung zu gewährleisten, dreht man das Staurohr langsam leicht hin und her und vergleicht die Messergebnisse. An der Stelle an der man den höchsten Wert abliest, ist das Staurohr optimal in der Strömung plaziert.

Schläuche abgeknickt

Wichtig ist zu beachten, dass die Schläuche auf dem Weg vom Staurohr zum Drucksensor nicht geknickt werden (Vorsicht bei hochflexiblen Schläuchen!!!), was verfälschte Messergebnisse zur Folge hätte.

Schläuche falsch angeschlossen

Den Schlauch des Anschlusses "a" mit dem + Anschluss und den Schlauch des Anschlusses "b" mit dem – Anschluss des Drucksensors anschließen.

Ungenauer Drucksensor

Nicht mit jedem Drucksensor kann, besonders im unteren Bereich, Luftströmung gemessen werden. Wichtig ist die Genauigkeit des Sensors, da in die Fehlerberechnung die absolute Genauigkeit mit einfließt.

Hierzu ein Beispiel:

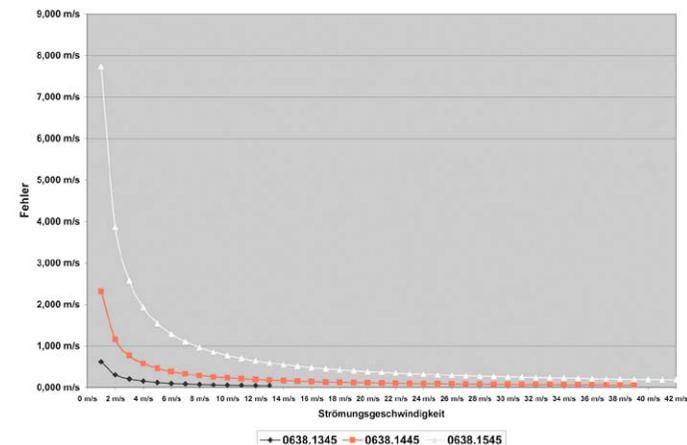
Testo Drucksonden für die Multifunktionsmessgeräte

0638.1345; Messbereich 0...100 Pa; Genauigkeit $\pm(0,3 \text{ Pa} + 0,5 \% \text{ v.Mw.})$

0638.1445; Messbereich 0...10 hPa; Genauigkeit $\pm 0,03 \text{ hPa} (= 3 \text{ Pa})$

0638.1545; Messbereich 0...100 hPa; Genauigkeit $(0...20 \text{ hPa}) \pm 0,1 \text{ hPa} (= 10 \text{ Pa})$

Fehler diverser Drucksonden bei Strömungsmessung mit Staurohr



Man sieht an der Grafik, dass die Sonde mit dem Messbereich 0...100 hPa im unteren Bereich von z.B. 5 m/s eine Abweichung von $\pm 1,55$ m/s (=31% Messfehler) aufweist. Die wesentlich genauere 100 Pa-Sonde weist lediglich einen Fehler von $\pm 0,12$ m/s (= $\pm 2,4\%$) auf. Je höher die Strömungsgeschwindigkeit, desto geringer geht die Genauigkeit der Drucksonden in die Fehlerberechnung ein.

Staurohrfaktor

Die gebogenen Staurohre von Testo haben immer den Staurohrfaktor 1. Werden Fremdfabrikate an Testo Druckmessgeräte adaptiert, so muss unbedingt mit dem richtigen Staurohrfaktor gerechnet werden. Mit den geraden Staurohren Best.-Nr. 0635.2045 / 2145 / 2245 / 2345 erzielt man einen wesentlichen höheren Staudruck als mit den normalen. Hier erreicht man eine fast doppelte Genauigkeit. Der Staurohrfaktor für die geraden Staurohre lautet 0,67. Ein weiterer wesentlicher Vorteil des geraden Staurohres ist die Bauform. Es bedarf wesentlich kleinerer Löcher um das Staurohr in Kanäle einzuführen, hier ganz speziell, wenn es sich um isolierte Rohre handelt.

Achtung: Mindesteintauchtiefe von 150 mm beachten.

Strömungsmessung über 100 m/s

Ab ca. >100m/s gilt die normale Bernoulli Gleichung nicht mehr. Bei diesen hohen Gasgeschwindigkeiten muss für genaue Messungen zusätzlich die Kompressibilität des Fluids durch folgenden Korrekturfaktor berücksichtigt werden.

$$K = \left[1 - \frac{1}{2 * \kappa} * \frac{\Delta p}{p_{st}} + \frac{\kappa - 1}{6 * (\kappa)^2} * \left(\frac{\Delta p}{p_{st}} \right)^2 \right]^{1/2} \quad \text{wobei } \kappa = 1.4 \text{ (für Luft)}$$

oder

$$K = (1 + 0.25 * (Ma)^3)^{-1/2}$$

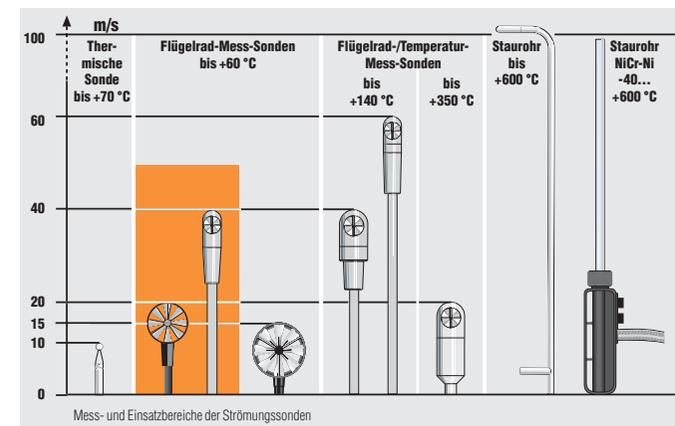
Mit diesem Korrekturfaktor berechnet sich die Luftgeschwindigkeit wie folgt:

$$v = \alpha * K * \sqrt{\frac{2 * \Delta p}{\rho}}$$

Formelzeichen	Dargestellte Größe	SI-Einheit *)
v	Geschwindigkeit des Fluids	m/s
p _{st}	statischer Druck des Fluids	Pa
ΔP	Differenzdruck, Staudruck	Pa
ρ	Dichte des Fluids	kg/m ³
κ	Isentropenexponent	1
K	Korrekturfaktor	1
α	Staurohrfaktor	1
Ma	Machzahl =	1
	Verhältnis der Geschwindigkeit des Fluids zu Schallgeschwindigkeit des Fluids	

Vorteile der Strömungsmessung mittels Differenzdruck und Staurohr

In verschmutzten und hochtemperierten Umgebungen spielt das Staurohr seine Vorteile voll aus. Ebenso in hohen Strömungsgeschwindigkeiten.



Kalibrierung
XVI. Kalibrierung

Bei der Kalibrierung von Druckmessgeräten wird normalerweise in 5 Schritten zum Messbereichsendwert gefahren und in 3 Schritten zurück auf 0.

Hierbei ist besonders darauf zu achten, dass die Messpunkte nicht überfahren werden, da sonst die Hysterese (siehe Punkt 9.3.3) zum tragen kommt.

Hierzu ein Beispiel:

Man will den Messpunkt 100 hPa kalibrieren. Nun wird ein Druck mittels eines Druckerzeugers bis nahe an die 100 hPa aufgebaut. Danach wird sehr vorsichtig an den Messpunkt herangefahren bis er erreicht ist. Hat man den Messpunkt durch irgendwelche Umstände überfahren (z.B. 105 hPa) so kann man nicht einfach wieder Druck ablassen, bis die 100 hPa erreicht sind, da man evt. andere Messwerte von oben nach unten erhält als von unten nach oben. Man muss in diesem Fall wieder bei Druck 0 neu beginnen. Wichtig ist es auch bei der Druckerzeugung eine Ruhezeit zu beachten. Wird mittels eines Druckerzeugers Luft komprimiert, so erwärmt sich diese und dehnt sich aus => der Druck steigt an. Nun muss man warten, bis sich die Luft der Umgebungstemperatur angepasst hat. Dies ist der Fall, wenn der Messwert stabil steht.

Kalibrier-Protokoll

Calibration Protocol • Protocole d'étalonnage
Protocollo di calibrazione • Informe de Calibración

Gerät / Instrument / Instrument / Instrumento / Instrument	Digital Manometer
Typ / Type / Type / Tipo / Tipo	testo 521AD10000
Seriennummer / Serial No. / No de serie / Numero di serie / No de serie	1003481
Umgebungstemperatur / ambient temp. / temp. d'env. / temp. d'ambiente / temp. ambiente	22°C ±0.2°C
Brennstoffquelle / power supply / alimentazione / alimentazione	9.0 V

Profession / Calibration medium / medium de mesura / medium di misura / medium de medida exppm

Messbereich / Range / Gamme de mesure / Gamma di misura / Gama de medida 1100.00 mbar abs

Klasse / Class / Classe / Classe / Clase 0.20 % FS

Referenzwert / Reference / Referência / Riferimento / Referência Sperry AD1 0N 8796040 1100 mbar abs

↓			↑		
SOLLWERT Valeur Prescrite SETTING VALUE VALORE PRESO VALOR FIJO	ABWEICHUNG DEVIATION DIFFERENZ DIFFERENZA DIFERENÇA	%FS	SOLLWERT Valeur Prescrite SETTING VALUE VALORE PRESO VALOR FIJO	ABWEICHUNG DEVIATION DIFFERENZ DIFFERENZA DIFERENÇA	%FS
1100.00	0.00	0.00	1100.00	-0.10	-0.01
825.00	0.00	0.00			
550.00	0.00	0.00	550.00	0.00	0.00
275.00	0.00	0.00			
0.00	-0.10	-0.01	0.00	-0.10	-0.01
Max. Tolerance %-	0.20	0.20	Max. Tolerance %+	0.20	0.20

Datum / Date / Date / Data / Fecha Folter / Inspector / Verifizierer / Inspectore / Inspector

14.06.22 10:30:40

XVII. Einige Applikationen

- Über / Unterdruck in Reinräumen
- Messung an Drucksystemen (Kompressorleistung)
- An Brennern (Zugmessung Pa + Gasfließdruck hPa + Feuer raumdruck hPa + pneumatischer Verbund + Zuluftgeschwindigkeit m/s + Luftfracht m/s)
- Lecktest nach DVGW / TRGI (Vor/Hauptprüfung)
- Filtercheck
- Druckschläge (Absauganlagen)
- Meteorologische Messungen (Absolutdruck)
- Messungen in Laboratorien (Veränderungen des Umgebungsdrucks während Versuchen/ Experimenten)
- Lecksuche/Verbrauchsrate an Druckluftsystemen mittels Leckfunktion (Druckverlust / Dimensionierung des Systems)
- Druckmessung an Kälteanlagen
- Kalibrierung
- Service und Wartung von Pumpen
- Verbrauchsmessung von Gasen mittels Druckverlustmessung