

Der Druck ist neben der Temperatur die wichtigste physikalische Zustandsgröße in der gesamten Prozess- und Verfahrenstechnik, denn er informiert gleichzeitig über die Druckverhältnisse von Flüssigkeiten und Gasen in Prozesslinien sowie über die jeweilige Belastung der Apparate.

1. Definition Druck

Der Druck ist bekanntermaßen definiert als eine senkrecht zur Fläche wirkende Kraft F pro Fläche A

$$p = F / A$$

Die Einheiten für die Druckmessung sind in der internationalen Norm ISO 1000 bzw. in der Deutschen Norm DIN 1301 festgelegt:

ein Pascal entspricht einem Druck von einem Newton pro Quadratmeter:

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

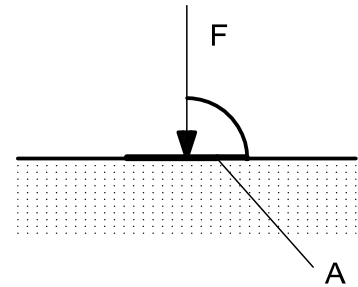
In der technischen Praxis wird in Europa im allgemeinen die Einheit

bar ; mbar

verwendet, dabei entspricht:

$$1 \text{ Pa} = 10^{-5} \text{ bar} = 10^{-2} \text{ mbar} = 0,01 \text{ mbar}$$

$$1 \text{ hPa} = 1 \text{ mbar} \quad (\text{Hektopascal})$$



2. Druckarten

Eine besondere Rolle bei der Druckmessung spielt die Erdatmosphäre. Der Atmosphärendruck ist allgegenwärtig und wirkt auf alle Körper gleichermaßen. Er beträgt auf Meereshöhe unter normalen Bedingungen 1013,25 mbar = 1013,25 hPa. Technische Druckmessungen erfolgen meistens gegen den atmosphärischen Druck. Der Atmosphärendruck oder Umgebungsdruck ist p_{amb} (lat. ambiens = Umgebung).

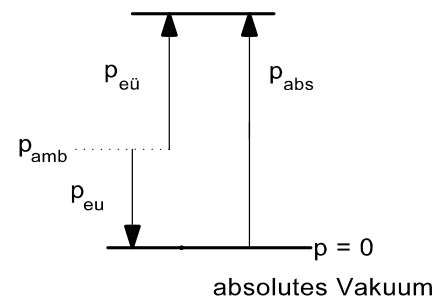
Je nachdem, worauf man den Druck bezieht, unterscheidet man zwischen den Druckarten:

- Absolutdruck
- Differenzdruck
- positiver oder negativer Überdruck gegen Atmosphäre (auch relativer Über- oder Unterdruck genannt)

Wählt man als Bezug ein Vakuum ($p = 0$), handelt es sich um eine Messung des Absolutdruckes (p_{abs}).

Die Differenz zweier Drücke p_1 und p_2 wird Druckdifferenz $\Delta p = p_1 - p_2$ oder Differenzdruck $p_{1,2}$ genannt.

Die Differenz zwischen einem absoluten Druck p_{abs} und dem jeweiligen (absoluten) Atmosphärendruck p_{amb} heißt Überdruck p_e . Der Überdruck p_e nimmt positive Werte an (p_{eu}), wenn der absolute Druck größer als der Atmosphärendruck p_{amb} ist. Er nimmt negative Werte an (p_{eu}), wenn der absolute Druck kleiner als der Atmosphärendruck ist. Negativer Überdruck wird auch Unterdruck genannt.



3. Messprinzipien

Druck wird auf verschiedenste Arten gemessen. Bezogen auf das Wirkungsprinzip sind für die Mess-, Steuer- und Regelungstechnik wichtig:

- Druckmessgeräte mit Sperrflüssigkeit (unmittelbare Druckmessgeräte)
- Federelastische Druckmessgeräte (mittelbare Druckmessgeräte)
- Elektrische Druckmessumformer

3.1 Druckmessgeräte mit Sperrflüssigkeit haben heute an Bedeutung verloren, sind aber nach wie vor im Handel. Flüssigkeitsmanometer, die mit einer Sperrflüssigkeit arbeiten, werden vor allem zur Messung sehr kleiner Drücke und Druckdifferenzen eingesetzt.

3.2 Federelastische Druckmessgeräte

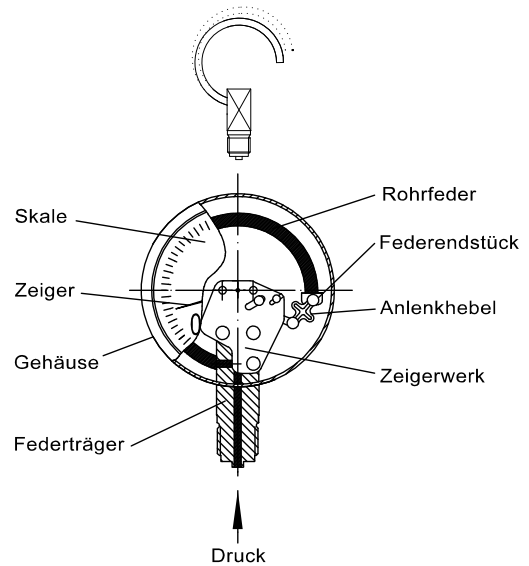
In der industriellen Messtechnik werden für die örtliche Messung und Ablesung des Druckes hauptsächlich federelastische Druckmessgeräte eingesetzt. Sie sind einfach aufgebaut, robust, zuverlässig und benötigen keine Fremdenergie. Sie übertragen den Druck durch die elastische Verformung einer Druckraum-Trennwand. Diese Verformung wird mechanisch auf die Druckanzeige übertragen.

Wegen des einfachen Messprinzips und der robusten Bauweise werden mechanische Druckmessgeräte in einem großen Druckbereich von 2,5 mbar bis 1 000 bar eingesetzt.

3.2.1 Druckmessgeräte mit Rohrfeder

Das Messwerk eines mechanischen Druckmessgerätes mit Rohrfeder enthält eine einseitig eingespannte elastische Rohrfeder, die so genannte Bourdon-Feder. Dieses elastische Messglied verformt sich proportional zum anstehenden Druck.

Für Bereiche bis 60 bar besteht das Messglied aus einem kreisförmig gebogenen, im Querschnitt ovalen Rohr aus Edelstahl, das am Ende verschlossen ist. Für Bereiche über 60 bar werden schraubenförmig gewickelte Rundrohre mit kleinerem Querschnitt und höherer Wandstärke eingesetzt. Wird der Innenraum des Rohres dem Messdruck ausgesetzt, verändert sich der Krümmungsradius. Die Bewegung des verschlossenen Federendes ist das Maß für den zu messenden Druck und wird über ein Zeigerwerk zur Anzeige gebracht.



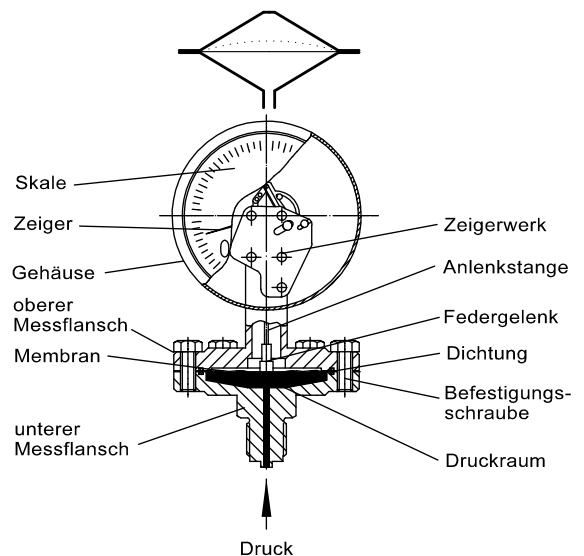
3.2.2 Druckmessgeräte mit Plattenfeder

Zum Messen gasförmiger und flüssiger Medien in Über- und Unterdruckbereichen von 0...25 mbar bis 0...25 bar werden Druckmessgeräte mit Plattenfedern eingesetzt.

Das Messglied besteht aus einer kreisförmigen Membran. Diese Membran, eingespannt zwischen Ober- und Unterflansch, wird durch den im Messraum bestehenden Druck verformt. Die Größe dieser Verformung ist das Maß für den Druck.

Plattenfedersysteme bieten folgende Vorzüge:

- durch großflächigen Endanschlag können hohe Überdrucksicherheiten realisiert werden
- durch Schutzfolien aus Sonderwerkstoffen können Plattenfedern gegen besonders aggressive Medien geschützt werden.

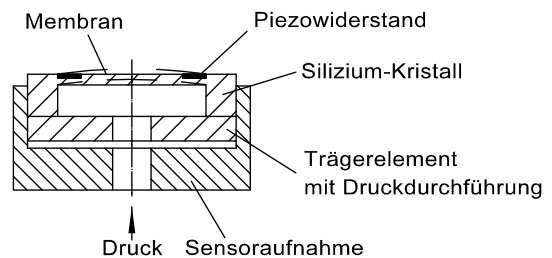


3.3 Elektrische Druckmessumformer

Das Messprinzip elektrischer Druckmessumformer beruht auf der Änderung der elektrischen Eigenschaften von Widerständen, Kondensatoren und Spulen in Abhängigkeit des Druckes. Sie eignen sich zum Messen schnell veränderlicher Drücke. Die Verarbeitung des Messsignals erfolgt durch geeignete Messverstärker. Für die elektronische Verarbeitung von Druckmessergebnissen werden fast ausschließlich elektrische Druckmessumformer eingesetzt.

3.3.1 Piezoresistive Druckaufnehmer

Der wirkende Druck verformt eine in ein Silizium-Kristall eingebettete Membran, die bei Dehnung oder Stauchung ihren spezifischen Widerstandswert ändert (piezoresistiver Effekt).



3.3.2 Dünnfilm-Technik (DMS)

Bei dieser Technologie verwendet man als Aufnehmer Trägerelemente mit Dehnungsmessstreifen (DMS). Der elektrische Widerstand eines DMS ändert sich bei Dehnung reversibel.

Für die Druckmessung wird der Messdruck über ein Trägerelement in eine genügend große Kraft umgesetzt, mit der ein Dehnungsmessstreifen gedehnt oder gestaucht wird. Die Widerstandsänderung der DMS ist dabei proportional dem zu messenden Druck.

Das kapazitive Drucksensormodul besteht im Allgemeinen aus zwei keramischen Komponenten:

- Keramik-Grundkörper
- Keramik-Membran

Diese beiden Grundelemente bilden einen elektrischen Kondensator, dessen Kapazität sich durch die Druckbeaufschlagung der Membran verändert.

Diese Kapazitätsänderung wird zur Verstimmung eines elektronischen Schwingkreises genutzt. Als Ausgangssignal steht ein frequenzabhängiges Signal zur Verfügung, das je nach qualitativer Anforderung analog oder digital weiterverarbeitet wird.

4. Definitionen

Messbereich, Anzeigebereich

Nach Norm ist der Messbereich als Wertebereich für eine Messgröße (z.B. Druck) definiert, für den die Messabweichungen bzw. vereinbarte oder garantierte Fehlergrenzen eines Messgerätes innerhalb der vorgegebenen Fehlergrenzen liegen sollen. Die Grenzen des Messbereiches sind der Messanfangswert und Messendwert. Der Ausgabebereich bei mechanischen Druckmessgeräten heißt Anzeigebereich. Dieser ist der Bereich aller Werte, die an einem Messgerät abgelesen werden können.

Messspanne

Die Differenz zwischen Messanfangswert und Messendwert wird als Messspanne bezeichnet.

Kennlinie

Der Zusammenhang zwischen der Messgröße (Druck) und Ausgangsgröße (Anzeige oder Messwert) wird durch die Kennlinie beschrieben. Im Idealfall handelt es sich dabei um eine Gerade.

Grenzpunkteinstellung

Bei einer Grenzpunkteinstellung eines Druckmessgerätes werden der Anfangs- und Endmesswert mit der idealen Kennlinie in Übereinstimmung gebracht. Diese Definition ergibt zwar im Vergleich zur Anfangswerteinstellung bzw. zur BFSL (Best Fit Straight Line) die größte Kennlinienabweichung, ist jedoch für den Anwender am besten nachvollziehbar. Bei Angaben in Datenblättern muss daher angegeben sein, wie der Fehler definiert wird. Eine Kennlinienabweichung von 0,5% v.E. (vom Endwert) bei Grenzpunkteinstellung entspricht etwa einer Abweichung von 0,25% BFSL.

Kennlinienabweichung

Die Kennlinienabweichung definiert den maximalen Gesamtfehler gemäß IEC 770, bestehend aus Linearitätsabweichung, Hysterese und Reproduzierbarkeit entsprechend der Grenzpunkteinstellung. Dies ist also die Abweichung des Messbereichsendwertes von der idealen Kennlinie in Prozent. Bei Druckmessgeräten spricht man in diesem Zusammenhang auch von „Genauigkeit“. Die Linearitätsabweichung ist die größte Abweichung der Kennlinie von einer Bezugsgeraden. Die Hysterese (Umkehrspanne) ist die Differenz der Ausgangsgröße für einen festen Messwert mit steigendem bzw. fallendem Druck. Die Reproduzierbarkeit (Wiederholgenauigkeit) definiert die größte Abweichung der Ausgangsgröße bei wiederholtem Anfahren des Messwertes.

Temperaturfehler

Der Temperaturfehler gibt die maximale Abweichung der Kennlinie vom Idealverlauf für Messungen bei unterschiedlichen Temperaturen an. Der Temperaturfehler wird in der Regel auf den Messbereichsendwert bezogen und in Prozent pro 10K angegeben.

Drift

Verändert sich das Bezugsniveau einer Messung (z.B. der Nullpunkt eines Messgeräts) über einen längeren Zeitraum und ohne äußere Einflüsse, so spricht man von Drift.

Kalibrierung/ Justierung/ Eichen

Das Kalibrieren ist zunächst einmal das Feststellen der systematischen Messabweichung. Dabei wird der Zusammenhang zwischen Eingangs- und Ausgangsgröße eines Messgerätes festgestellt und zugeordnet. Beim Kalibrieren werden auch Fehler eines Messmittels festgestellt.

Das Justieren ist das Nachstellen des Messmittels. In der Messtechnik wird beim Justieren ein Messgerät so eingestellt oder abgeglichen, dass die Ausgangsgröße so wenig wie möglich von der idealen Kennlinie abweicht.

Das Eichen im amtlichen Sinn ist die von der zuständigen Eichbehörde nach den gesetzlichen Vorschriften vorzunehmende Prüfung, ob das Messgerät den festgelegten Anforderungen entspricht, insbesondere ob es die vorgeschriebenen Fehlergrenzen einhält.

Überlastgrenze

Überlastbereich: Die vereinbarten Fehlergrenzen werden überschritten. Im Überlastbereich kommt es zu keinen bleibenden Veränderungen der messtechnischen Eigenschaften.

Zerstörungsbereich: Der Druck führt zu bleibenden Veränderungen der messtechnischen Eigenschaften. Kein Austritt des Messstoffes.

Berstdruck: Drucktragende Teile bersten. Messstoff kann austreten.