

Differenzdrucksensoren - Ein mehrdeutiger Begriff -

In der Druckmesstechnik haben sich einige Begriffe eingebürgert, die verschiedene physikalische Messmethoden bezeichnen. Dazu gehören Absolutdruck-, Relativdruck- und Differenzdruckmessung. Dass man speziell unter dem Begriff Differenzdruckmessung unterschiedliche Sachverhalte versteht, ist vielen Anwendern nicht geläufig. Am Beispiel piezoresistiver Sensoren sollen in dem nachfolgenden Artikel die Begriffe erläutert werden. Insbesondere wird eine häufig benötigte Version beschrieben, die AMSYS als bidirektionale differentielle Druckmessung bezeichnet.

Prinzipielle Anordnung zur Differenzdruckmessung

Definition: Differenzdruckmessung ist die Druckmessung des Drucks P_1 relativ zu P_2 .

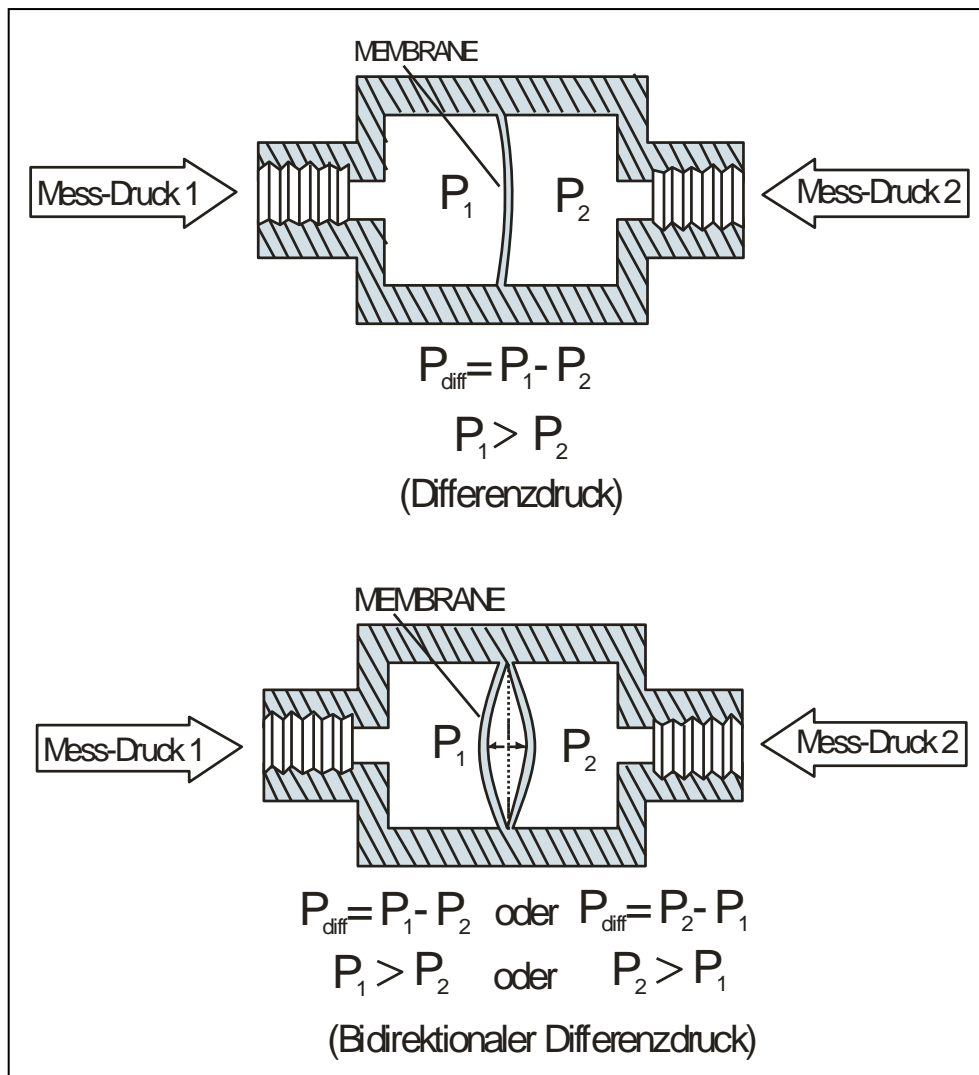


Abbildung 1: Prinzip der differentiellen Druckmessung: oben Differenzdruckmessung, unten bidirektionale Differenzdruckmessung

Differenzdrucksensoren - Ein mehrdeutiger Begriff -

Aufbau des Drucksensors

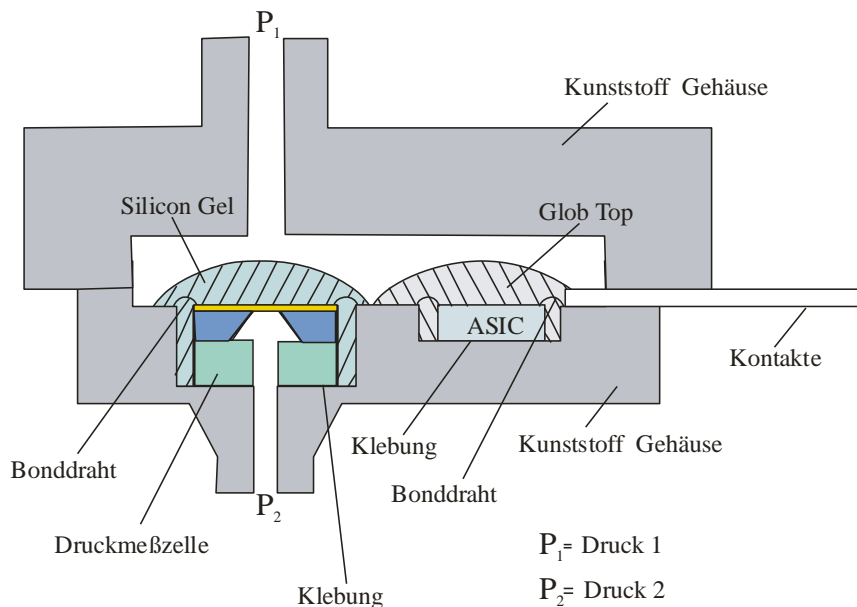


Abbildung 2: Prinzipieller Aufbau eines piezoresistiven, differentiellen Drucksensors

In der Differenzmessung vergleicht man zwei Drücke P_1 und P_2 , die von außen über ein entsprechendes Gehäuse (siehe *Abbildung 2*) an der Unter- und Oberseite des Sensorelement anliegen (Siehe *Abbildung 3*). Allgemein gilt: $P_1 \leq P_2$ oder umgekehrt $P_1 \geq P_2$.

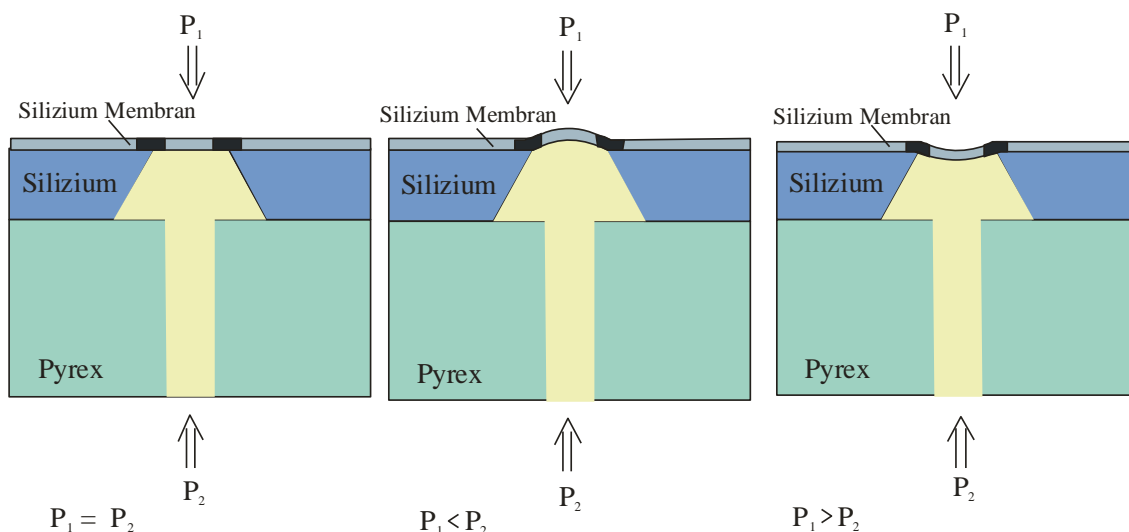


Abbildung 3: Verhalten der Membran der Siliziummesszelle bei der Messung eines Differenzdruckes unter den Bedingungen: $P_1 = P_2$, $P_1 < P_2$ und $P_1 > P_2$

In *Abbildung 3* wird schematisch gezeigt, wie man sich die Membranauslenkung der Differenzdruckmesszellen bei verschiedenen Druckverhältnissen vorzustellen hat.



Differenzdrucksensoren - Ein mehrdeutiger Begriff -

Randbedingungen zur Druckerfassung

Bei den meisten Sensoren gilt aus weiter unten erläuterten Gründen die Forderung, dass nur ein Druckverhältnis, also $P_1/P_2 \geq 1$ oder $P_1/P_2 \leq 1$ erfasst und ausgewertet werden kann. Im Allgemeinen wird die Druckmessung mit dieser Einschränkung als Differenzdruckmessung bezeichnet.

Allgemein gilt für die Drucksensoren, deren Membran auf den jeweiligen Druckbereich optimiert ist, zusätzlich die Randbedingung, dass $P_1 - P_2 \leq P_{\max}$ oder $P_2 - P_1 \leq P_{\max}$ sein muß, wobei P_{\max} , der zulässige Maximaldruck, durch die technologischen Gegebenheiten der Messzelle bedingt und spezifiziert ist.

Neben der genannten Einschränkung durch den **Maximaldruck** P_{\max} gibt es noch eine Bedingung, die je nach Anwendung zu berücksichtigen ist. Hierbei handelt es sich um die Druckfestigkeit des Sensorgehäuses gegen den von außen wirkenden Druck. Das bedeutet, dass P_1 und P_2 jeweils einen gewissen Wert gegenüber dem Umgebungsdruck nicht überschreiten dürfen. Dieser Wert wird bei AMSYS [1] als max. **System- oder Common Mode Druck** P_{System} bezeichnet.

Beispiel: $P_{\max} = 20$ mbar, $P_1 = 10,01$ bar und $P_2 = 10$ bar.

$$P_1 - P_2 = 10,01 \text{ bar} - 10 \text{ bar} = 10 \text{ mbar} < P_{\max}$$

Wenn das Gehäuse aber konstruktiv auf einen Systemdruck von max. 7 bar ausgelegt ist, liegt an beiden Eingängen ca. 2 bar mehr gegen die Außenatmosphäre (ca. 1 bar) an, als erlaubt, was unter Umständen zur Zerstörung des Sensors führen kann.

Das bedeutet eine weitere Randbedingung, die zu beachten ist: $P_1, P_2 \leq P_{\text{SYSTEM}}$.

Diese beiden Randbedingungen gilt es zu berücksichtigen, wenn der Anwender einen differentiellen Druck in einem bestimmten Umgebungsdruck messen möchte.

Medienempfindlichkeit

Die Frage, ob $P_1/P_2 \geq 1$ oder $P_1/P_2 \leq 1$ erfasst wird, hat unter dem Aspekt der Medienempfindlichkeit beim Aufbau der AMSYS Drucksensoren eine nicht zu vernachlässigende Bedeutung.

Die Membranoberseite hat zur Kontaktierung kleine Metallflächen (Pads aus hochreinem Aluminium), die nicht korrosionsbeständig sind. Diese werden in der Regel durch eine Schicht aus Silicongel geschützt. Da es nur selektiv schützende Gele gibt, kann kein universeller Schutz gewährleistet werden. Man muss darauf achten, dass die geplanten Sensoren gegen die kontaktierenden, gegebenenfalls korrodierenden Medien geschützt sind.

Die Rückseite der Siliziummesszellen (am Beispiel des AMS 4711 [2] ist dies Glas, Siliziumoxid und Keramik) ist wegen den fehlenden Aluminiumpads gegenüber der Oberseite sehr medienbeständig. Daher ist es oft ratsam, die kritischen Medien oder Flüssigkeiten auf die Unterseite der Messzellen zu beaufschlagen, was bei der Auswahl der Sensoren in Bezug auf Anwendungssicherheit berücksichtigt werden muß.

Signalaufbereitung

Da die Siliziummesszellen bei der üblichen Brückenschaltung ein Differenzsignal von maximal ca. ≤ 150 mV (abhängig von der Membranempfindlichkeit) als Full Scale Signal erzeugen können, ist zur Signalverarbeitung zunächst ein Instrumentenverstärker notwendig. Dieser verstärkt das Signal mit geringem Offset und Offsetdrift, damit es problemlos weiter verarbeitet werden kann. In der

Differenzdrucksensoren - Ein mehrdeutiger Begriff -

nachfolgenden Single-Ended-Conversion-Stufe wird das Differenzsignal auf ein festes Potential bezogen. In der Regel wird der Nullwert als Bezugspunkt gewählt, so dass bei Differenzmesszellen (ideal gleichen Widerständen vorausgesetzt) ohne Druckbeaufschlagung als Ausgangssignal der Wert 0 V gemessen wird. In der nachfolgenden Signalbearbeitung wird dieser Wert entweder digitalisiert und kalibriert oder durch eine Spannungs- oder Stromendstufe auf den gewünschten Nullpunktwert in Volt oder mA gesetzt. In dem Beispiel des AMS 4712 [3] mit Stromausgang beträgt dieser Wert z.B. 4 mA.

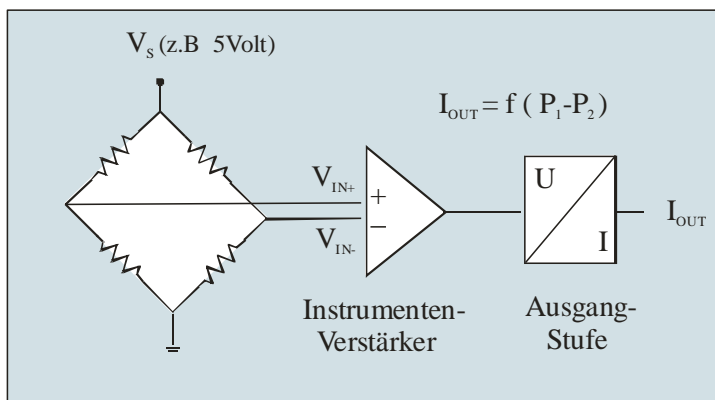


Abbildung 4: Elektronik zur Signalverarbeitung mit analoger Stromausgangsstufe

Wenn der Instrumentenverstärker so ausgelegt ist, dass er nur positive Eingangsspannungen verstärken kann und an seinem positiven Eingang die höhere Spannung anliegt, ergibt sich die Übertragungskennlinie in *Abbildung 5* mit $P_1 > P_2$.

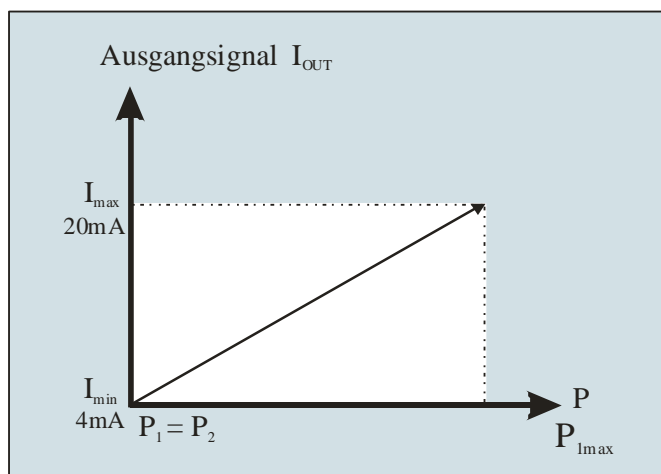


Abbildung 5: Übertragungskennlinie bei positivem Eingangssignal z.B. AMS 4712

Differenzdrucksensoren - Ein mehrdeutiger Begriff -

Eingangssignal

Liegt bei einer Elektronik, die für den Fall $P_1 \geq P_2$ entwickelt wurde, ein negativer Wert am Eingang des Instrumentenverstärkers an (z.B. $V(P_1) < V(P_2)$) oder existiert ein negativer Offset (z.B. Verstärkeroffset) so wird das Sensorausgangssignal so lange die Null oder einen der Null entsprechenden Wert (beispielsweise 4 mA) anzeigen, bis das Eingangssignal die Bedingung $V(P_1) \geq V(P_2)$ erfüllt, das Eingangssignal also größer oder gleich der negativen Vorspannung wird.

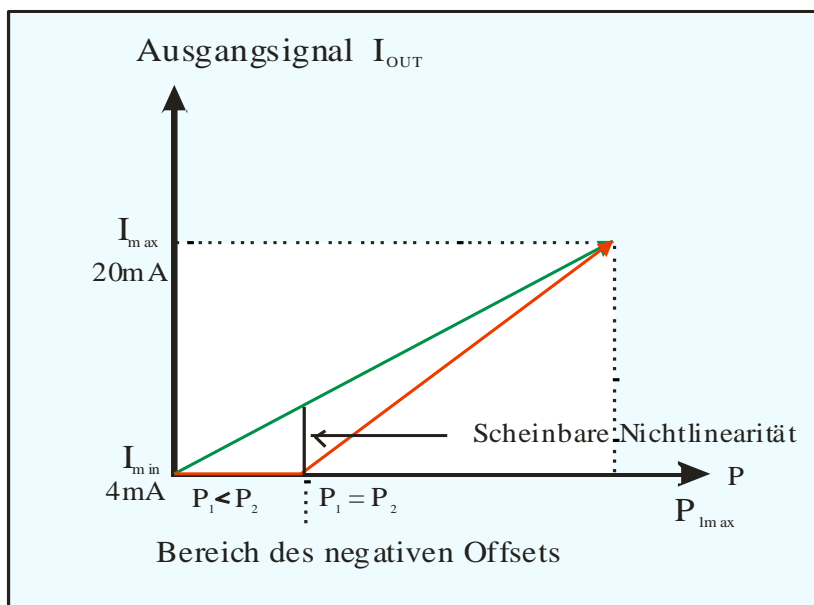


Abbildung 6: Übertragungskennlinie bei negativem Eingangsoffset oder $P_1 < P_2$

Für den Benutzer sieht dann z.B. der vorhandene negative Offset am Verstärkereingang in der Übertragungskennlinie *Abbildung 6* so aus, als ob ein Versatz vorhanden wäre, was bei einer Zweipunktmessung (Nullpunkt und Endpunkt) als Nichtlinearität angesehen werden kann. Dieser Versatz (negatives Eingangssignal) müsste in der Nachweiselektronik berücksichtigt und korrigiert werden. Das bedeutet, die Qualität des Sensorausgangssignals hängt von der Polarität des Messzellensignals und den Eigenschaften der Verstärkerelektronik ab.

Bidirektionale differentielle Sensoren

Neben den beschriebenen Anwendungen gibt es praktische Anforderungen, bei denen in einem Drucksystem beide Bedingungen $P_1 \leq P_2$ als auch $P_1 \geq P_2$ vorkommen können. (z.B. Be- und Entlüften, Unter- und/oder Überschreiten eines Flüssigkeitsniveaus, Ein- und Ausatmen usw.). Diese Messaufgabe könnte nicht mit der oben beschriebenen Differenzmessung gelöst werden.

Differenzdrucksensoren - Ein mehrdeutiger Begriff -

Da es für diesen Fall der Druckmessung keine allgemein anerkannte Bezeichnung gibt, nennt AMSYS seine Sensoren, die diese Art von Differenzdruck messen können, bidirektional differentielle Drucksensoren. Sie haben also die Eigenschaft differentiellen Unter- und Überdruck messen zu können.

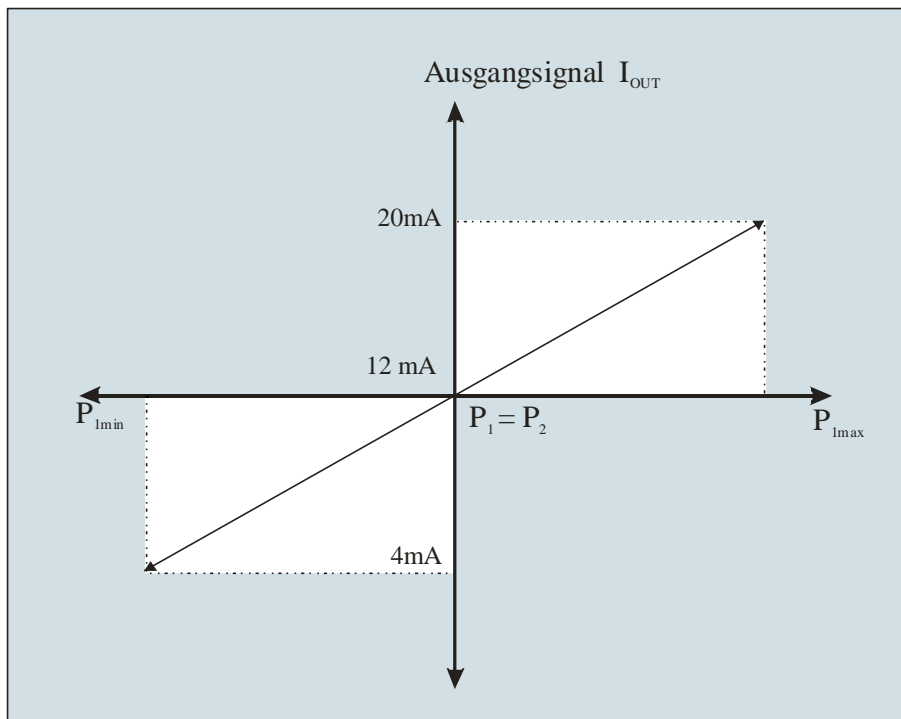


Abbildung 7: Übertragungskennlinie für bidirektional differentielle Drucksensoren

Der zu messende Differenzdruck kann bei diesen Sensoren sowohl ein positives als auch ein negatives Vorzeichen haben; d.h. der Druck P_1 an dem Anschlussstutzen 1 (z.B. Messzellenoberseite in Abbildung 8) kann sowohl größer als auch kleiner als der Druck P_2 am Anschlussstutzen 2 (Messzellenunterseite) sein und das Vorzeichen kann während der Messung variieren. Für die Drücke P_1, P_2 an den Anschlussstutzen gilt die Bedingung:

$$P_{\min} \leq |P_1 - P_2| \leq P_{\max} \text{ mit der Randbedingung } P_1, P_2 \leq P_{\text{System}}$$

Differenzdrucksensoren - Ein mehrdeutiger Begriff -

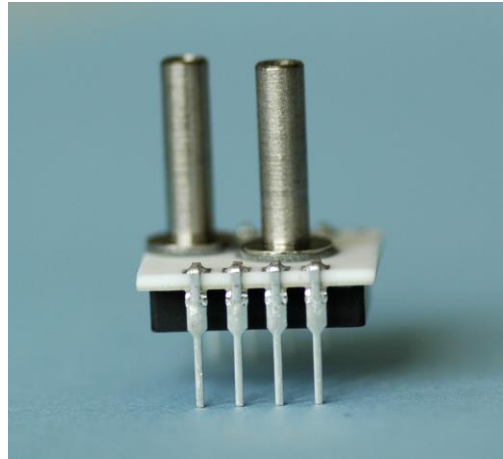
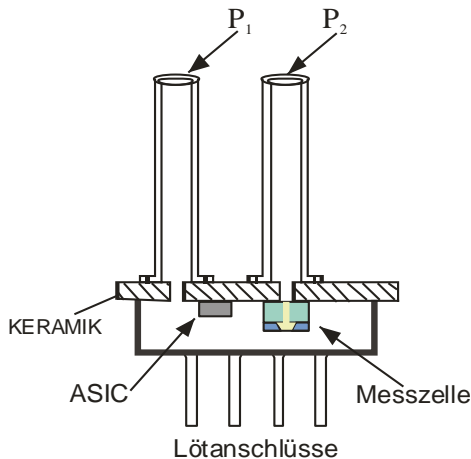


Abbildung 8: Darstellung eines Differenzdrucksensors der Serie AMS 5915 [4] mit 2 Anschlussstutzen

Darin bezeichnet P_{\max} den positiven und P_{\min} den negativen Enddruck des jeweiligen Druckbereiches, für den die Sensoren ausgelegt sind. P_{System} bezeichnet den maximal erlaubten Systemdruck in Bezug auf den wirkenden Umgebungsdruck, der von außen an dem Gehäuse des Sensors anliegen darf.

Diese bidirektional differentielle Messung ist nur dann möglich, wenn zwei Anforderungen an das Sensorsystem erfüllt sind.

- Die Membranstruktur muß ein symmetrisches Verhalten bezüglich der Auslenkung nach beiden Seiten aufweisen und
- Die Nachweiselektronik muß in ihren Übertragungsverhalten bezüglich des Nullpunktes an den Messzellensignalbereich angepasst sein

zu a)

Bei der Membran handelt es sich um eine dünne Halbleiterschicht (einige Mikrometer), die aus verschiedenen Schichten besteht. In der Regel sind das neben der Siliziumschicht eine Oxid- und eine Passivierungsschicht. Aus diesem Grunde kann das Verhalten der Membran richtungsabhängig sein. Im schlimmsten Fall kann es sogar zu einem Knackfroscheffekt kommen. Die Hersteller der Siliziummesszellen müssen also für die bidirektionalen Sensoren ein symmetrisches Verhalten der Membran bei positiver und negativer Auslenkung gewährleisten.

zu b)

Die Übertragung der Kennlinie, die in *Abbildung 7* dargestellt ist, bedingt eine Verstärkerelektronik, in der nicht das Nullpotential als Referenz des Instrumentenverstärkers festgelegt ist, sondern dessen Referenz auf den $\frac{1}{2}$ Full-Scale-Wert gelegt werden muß. Zum Beispiel wird bei einem Sensor, der 4...20 mA als Ausgangssignal haben soll, bei den bidirektional differentiellen Drucksensoren der Nullpunkt auf 12 mA gelegt, so dass das Signal $P_1 \leq P_2$ von 4..12 mA und das Signal $P_1 \geq P_2$ von 12...20 mA abgebildet wird.



Differenzdrucksensoren - Ein mehrdeutiger Begriff -

Zusammenfassung

Differenzdrucksensoren messen den Unterschied zwischen zwei Drücken. Man unterscheidet eine Differenzdruckmessung, bei der die Druckverhältnisse gleich bleibend sind. Es gilt: der Druck an dem einen Anschlussstutzen ist immer größer/gleich dem Druck am anderen Stutzen. Differenzdruckmessung, die sowohl differentiellen Unter- als auch Überdruck erlaubt, wird von AMSYS als bidirektional differentielle Druckmessung bezeichnet.

Außerdem wird erklärt, dass man abhängig von der Anwendung bei der Auswahl der Differenzdrucksensoren auf bestimmte Randbedingungen achten muss.

Weitere Informationen

[1] Homepage: <http://www.amsys.de>

[2] Drucksensor AMS 4711: <http://www.amsys.de/produkte/drucksensoren/ams-4711-drucksensor-mit-spannungsausgang/>

[3] Drucksensor AMS 4712: <http://www.amsys.de/produkte/drucksensoren/ams-4712-drucksensor-mit-stromausgang/>

[4] OEM-Drucksensor AMS 5915: <http://www.amsys.de/produkte/drucksensoren/ams5915-digitaler-drucksensor/>

Lesenswert aus der gleichen Reihe:

[Whitepaper 01: Aufbauformen von Drucksensoren: von der Siliziummesszelle zum Transmitter](#)

[Whitepaper 02: Wie funktioniert Absolutdruckmessung?](#)

Kontakt

AMSYS GmbH & Co. KG
An der Fahrt 4
55124 Mainz
Deutschland

Telefon: +49 (0) 6131/469 875 0
Telefax: +49 (0) 6131/469 875 66
E-Mail: info@amsys.de
Internet: <http://www.amsys.de>