



# Präzise Füllstandsmessung mit dem Niederdruck-Modul MS5536-60

## Problemstellung

*Füllstandmessung bedeutet im Sinne der modernen Prozessautomatisation mehr als Tank voll oder Tank viertel voll. Mit geeigneten Sensoren lassen sich Füllstand sowie Zu- und Abläufe messen und damit wertvolle Informationen zur Prozessdynamik gewinnen. Wie man mit dem Präzisionsdrucksensor MS5536-60 solche Messungen durchführen kann, ist Inhalt dieser Anwendungsbeschreibung.*

## Inhalt:

- Druckmessung mit Siliziummesszellen
- Füllstandsmessung
- MS5536-60 als Anwendungsbeispiel
- Zusammenfassung

## Differenzdruckmessung mit Siliziummesszellen

In der Differenzdruckmessung vergleicht man zwei Drücke  $P_1$  und  $P_2$ , die von außen mittels einer Druckzuführung (Gehäuse) an der Unter- und Oberseite einer Siliziummesszelle mit Membrankonstruktion (*Abbildung 1*) anliegen. Allgemein gilt die Bedingung:  $P_1 \leq P_2$  oder umgekehrt  $P_1 \geq P_2$ . Bei den meisten Sensoren auf Siliziumbasis gilt die Forderung, dass nur ein Druckverhältnis:  $P_1/P_2 \geq 1$  oder  $P_1/P_2 \leq 1$  erfasst und ausgewertet werden kann. Im Allgemeinen wird die Druckmessung mit dieser Einschränkung als Differenzdruckmessung bezeichnet.

Weiterhin gilt für 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  $P_{max}$  durch die technischen Gegebenheiten vorgegeben wird und als Überdruck oder Berstdruck spezifiziert wird.

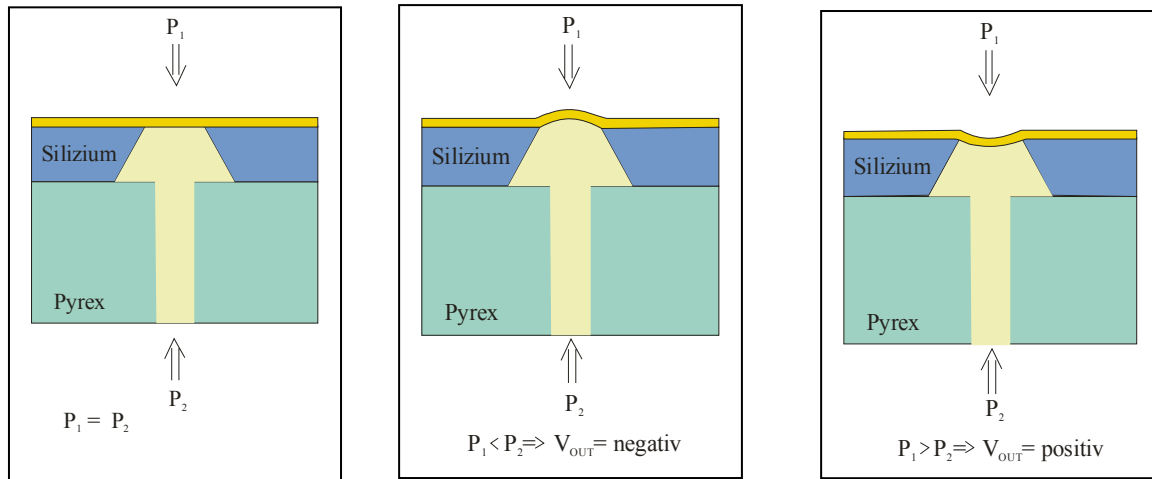
In *Abbildung 1* wird schematisch gezeigt, wie man sich die Membranauslenkung der Differenzdruckmesszellen bei verschiedenen Druckverhältnissen vorzustellen hat. Der Vorzeichenwechsel im Ausgangssignal bedeutet nichts anderes als die Richtungsumkehrung der Membranauslenkung.

## Relativdruckmessung

Ist nun einer der wirksamen Drücke  $P_1$  oder  $P_2$  gleich dem außerhalb des Systems wirkenden Umgebungsdruck (z.B. Atmosphärendruck  $P_{atm}$ ) so spricht man von Relativdruckmessung, für die mit der Einschränkung  $P_1$  oder  $P_2 = P_{atm}$  das Gleiche wie für den Differenzdruck gilt. Für den Umgebungsdruck benötigt man in diesem Fall keinen Anschlußstutzen. Er kann durch eine einfache Öffnung im Sensorgehäuse auf die Messzelle wirken (*Abbildung 3*).

Somit wird der einzelne verbleibende Anschlußstutzen zum typischen Unterscheidungsmerkmal zwischen Relativdruck- und Differenzdrucksensor.

# Präzise Füllstandsmessung mit dem Niederdruck-Modul MS5536-60



**Abbildung 1: Funktionsweise einer piezoresistiven Messzelle zum Messen des Differenzdruckes (Relativdruck)**

## Füllstandsmessung

Prinzipiell entspricht die Füllstandsmessung mit Drucksensoren einer Relativdruckmessung, wobei z.B. der Druck  $P_1$  dem Umgebungsdruck und der andere Druck  $P_2$  dem Umgebungsdruck zuzüglich dem durch das Gewicht der Flüssigkeitssäule (hydrostatischer Druck) erzeugte Druck entspricht.

An Hand der *Abbildung 2* soll die Pascalsche Regel erläutert werden, die die physikalische Grundlage der Füllstandsmessung mit einem Drucksensors bildet.

Für den hydrostatischen Druck, der in einem mit Flüssigkeit gefülltem zum Umgebungsdruck offenen Gefäß herrscht, gilt:

$$P(h) = \rho \cdot g \cdot h \quad (\text{Siehe Abbildung 2})$$

Das bedeutet, dass bei konstanter Flüssigkeitsdichte  $\rho=f(T)$  der an der Messstelle herrschende Druck proportional der Flüssigkeitshöhe  $h$  (bis zur Messstelle) ist. Hinzu kommt zusätzlich der auf der Flüssigkeitsoberfläche wirkende Umgebungsdruck  $P_{atm}$ .

Damit wird der im offenen Gefäß herrschende Druck  $P = P_{atm} + P(h)$ .

Wird an der Messstelle (zunächst einmal an der untersten Stelle des Gefäßes) ein Relativdrucksensor angebracht, dessen eine Seite den wirkenden Gesamtdruck  $P$  misst und dessen andere Seite aber mit dem Umgebungsdruck  $P_{atm}$  verbunden ist, so heben sich die Wirkungen des Umgebungsdruckes an der Ober- und Unterseite der Membran heraus. Diese zeigt keine Auslenkung, wenn an beiden Seiten  $P_{atm}$  anliegen würde. Folglich reagiert die Membran und damit der Sensor nur auf die Differenz zwischen dem Druck  $P_{atm}$  und dem Druck  $P_{atm} + P(h)$ , eben auf den hydrostatischen Druck  $P(h)$  im Gefäß.



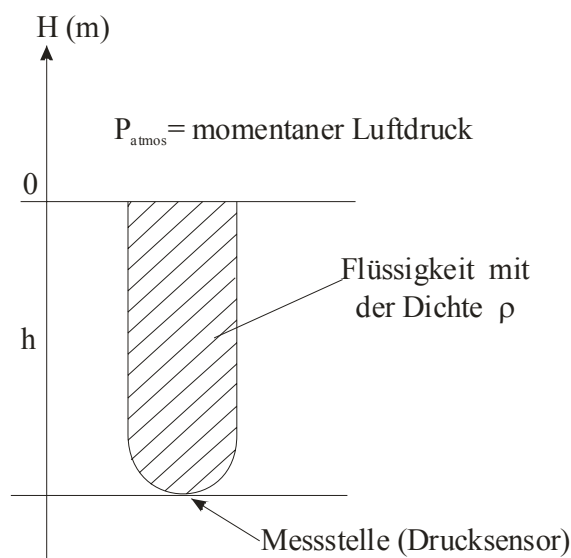
# Präzise Füllstandsmessung mit dem Niederdruck-Modul MS5536-60

Als Umrechenformel gilt:

1000 Pa = 10mbar oder =10cm Wassersäule bei 4°C.

Da alleine der Differenzdruck die Auslenkung der Membran bestimmt, kommt es nicht auf die Größe des Umgebungsdruckes an. Folglich kann bei einem Umgebungsdruck von z.B. 1000mbar und einer max. Füllhöhe von z. B. 50cm ein Niederdrucksensor mit einem Druckbereich von 0 bis 50mbar benutzt werden. Bei einer Wassersäule von 10cm @RT = 4°C würde der Drucksensor das dem Druck von 10mbar entsprechende Ausgangssignal anzeigen.

Es ist sinnvoll den Druckbereich des Sensors an die Messaufgabe respektive den max. Füllstand anzupassen, da andernfalls das Ausgangssignal um das Verhältnis Sensor-druckbereich/ max.hydrostatischer Druck verringert würde.



$$P = P_{\text{atmos}} + P_{\text{hydrost.}}$$

$$P_{\text{hydrost.}} = f(h) = \rho * g * h \quad (\text{Pa})$$

$$\text{mit } \rho = \text{Dichte} = f(T) \quad (\text{kg/m}^3)$$

$$g = \text{Erdbeschleunigung } 9,32 \text{ m / s}^2$$

$$h = \text{Höhe der Flüssigkeit (m)}$$

**Abbildung 2: Druckverhältnisse bei der Füllstandsmessung**



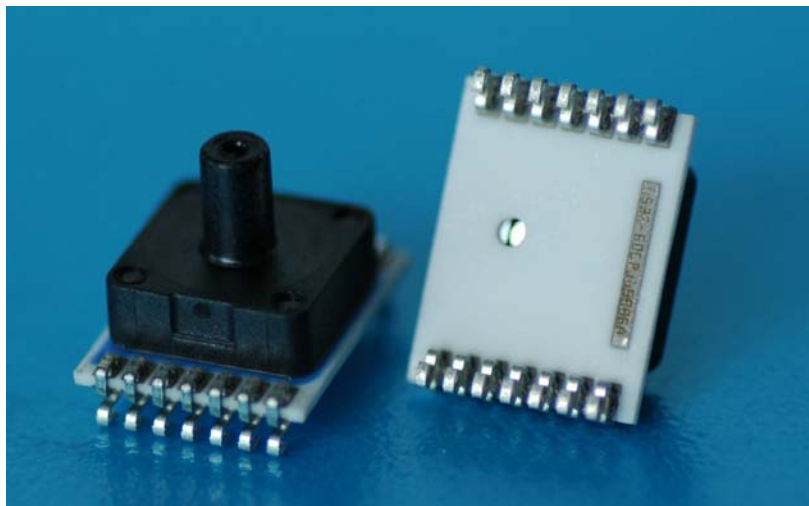
# Präzise Füllstandsmessung mit dem Niederdruck-Modul MS5536-60

In der Praxis muss man bei der Positionierung des Sensors zur Messung des Füllstandes einige technische Punkte berücksichtigen, die unter Umständen einen anderen Messaufbau erfordern (*Abbildung 4*).

## MS5536-60 als Anwendungsbeispiel

Das MS5536-60 Niederdruckmodul (*Abbildung 3*) besteht aus einem Silizium Druckmess-element und einer integrierten Auswerteschaltung, die auf einem Keramiksubstrat mit Pb-freien Lötanschlüssen montiert sind.

Die wesentliche Funktion des Moduls ist die eines 16bit A/D-Konverters, der den analogen Druckmesswert der Messzelle in ein 16-bit Wort wandelt. Zusätzlich zum Druck wird auch die Temperatur der Messzelle in gleicher Weise digital gewandelt. Da die Ausgangsspannung des Drucksensorelements stark von der Temperatur und von den Herstellungstoleranzen abhängig ist, müssen diese Effekte durch einen Abgleich eliminiert werden. Dazu werden die individuellen Korrekturdaten, die während der Herstellung ermittelt und intern im MS5536-60 gespeichert werden, mit den ermittelten Messwerten verknüpft. Dies geschieht in einem externen Mikroprozessor, der mit Hilfe eines einfachen Algorithmus die aktuellen Druck- und den Temperaturmesswerte mit den Korrekturdaten verrechnet und somit das Modul individuell abgleicht.



**Abbildung 3: MS5536-60 (Oberseite: Anschlussstutzen;  
Unterseite: Öffnung für den Umgebungsdruck**

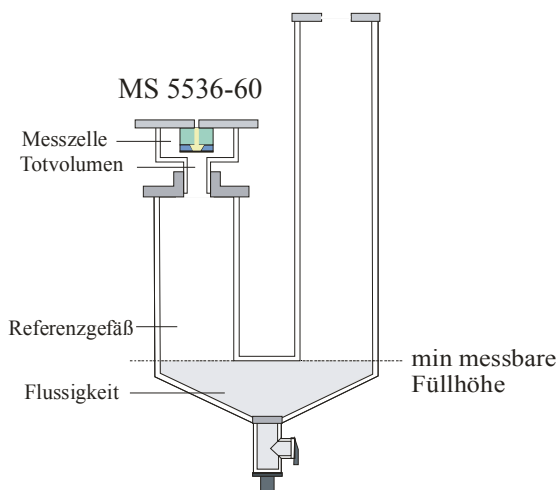
Das Modul MS5536-60 kann direkt an einen Standard-Mikroprozessor ohne teure Zusatzelemente wie Instrumentenverstärker oder A/D-Wandler angeschlossen werden.



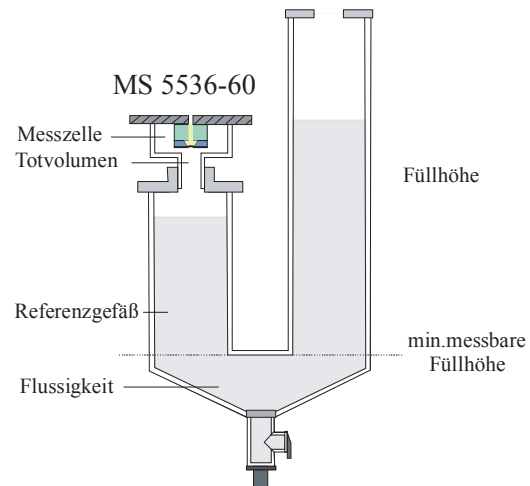
# Präzise Füllstandsmessung mit dem Niederdruck-Modul MS5536-60

Eine einfache Dreidraht-Synchron-Serien Interface -Schaltung verbindet das Modul elektronisch mit dem nachfolgenden Prozessor. Das Protokoll erfordert keine speziellen Treiber oder Interfacebaustein und kann an in jedem Mikroprozessor mit Standard I/Os implementiert werden. Das notwendige 32,768kHz Clock-Signal wird durch einen externen Oszillator erzeugt, der aus den Uhranwendungen bekannt ist und als kostengünstiger Standard-Baustein bezogen werden kann.

Das Silizium Druckmesselement und insbesondere die Aluminium-Bondflächen sind durch ein Silicon-Gel gegen Feuchtigkeit und durch ein Kunststoffgehäuse gegen mechanische Beschädigung geschützt. Das Gehäuse mit seinem Kunststoff Anschluss-Stutzen ist hermetisch mit dem Keramiksubstrat verbunden und erlaubt die Beaufschlagung eines Druckes auf die Oberseite der Messzelle. Der Umgebungsdruck wirkt durch die Rückseitenöffnung im Keramiksubstrat auf die Unterseite der Membran



**Abbildung 4: Montagebeispiel bei quasi leerem Tank**



**Abbildung 5: Montagebeispiel bei quasi gefülltem Tank**

Es ist bei der direkten Füllstandsmessung mit einem Siliziumdrucksensor (z.B. ohne Ölvorlage und Trenn-Membran) zu berücksichtigen, dass der Sensor oberhalb des Flüssigkeitsspiegels eines Referenzgefäßes so montieren werden sollte (siehe *Abbildung 4 und 5*), dass die Flüssigkeit nicht direkt mit der Messzelle in Berührung kommt und diese trotz des Silicongels z.B. durch Korrosion beschädigt wird. Auf keinen Fall sollten aggressive Flüssigkeiten benutzt werden.

Für präzise Füllstandsmessung ist auch zu beachten, dass das Totvolumen zwischen Flüssigkeitsoberfläche und Membran mit Luft gefüllt ist, die einerseits als Buffer gegen die Flüssigkeit wirkt, andererseits aber auch in ihrer Kompressibilität temperaturabhängig ist.



# Präzise Füllstandsmessung mit dem Niederdruck-Modul MS5536-60

Dass bedeutet, dass bei Temperaturschwankungen in der Flüssigkeit das temperaturabhängige Totvolumen auf die zu messende Füllstandshöhe Einfluss hat und bei kleinen Füllhöhenschwankungen in der Softwarekorrektur berücksichtigt werden sollte.

Neben dem temperaturabhängigen Totvolumen muss in einer Präzisionsmessung die temperaturabhängige Dichte Berücksichtigung finden. Prinzipiell kann dazu der Temperatursensor des MS5536-60 benutzt werden. Jedoch gilt in Abhängigkeit von der geforderten Genauigkeit die Bedingung, dass das Sensormodul die gleiche Temperatur wie die Flüssigkeit haben müsste, was mit einer genügend guten thermischen Kopplung erreicht werden kann..

Die MS5536-60 sind für einen Druckbereich von 60mbar (entspricht 60cm Wassersäule bei 4°C) optimiert und bieten ein Auflösungsvermögen von 0,05mbar (entspricht 0,5mm Wassersäule) bei einer Mittlung von 2 - 8 Druckzyklen. Um eine größere Genauigkeit zu erhalten, wird empfohlen, den Offset in periodischen Abständen mittels der Anwendungssoftware zu rekalisieren. Dazu Sollte der kalibrierte Wert eines definierten Druckzustandes z.B. bei  $\Delta P = 0$  ermittelt werden. Die Differenz zwischen dem angezeigten Wert und dem aktuellen Wert kann gespeichert werden und bei den weiteren Messungen zur Korrektur benutzt werden.

## Zusammenfassung

Der MS5536-60 ist ein kalibriertes und kompensiertes Niederdruck Modul mit hoher Auflösung, das für die Füllstandsmessung konzipiert ist. Unter Ausnutzung der bestehenden Möglichkeiten können Änderungen in der Füllstandshöhe von 0,5mm gemessen und bei Kenntnis der geometrischen Abmessungen die zufließende oder abfließende Flüssigkeitsmenge sehr genau bestimmt werden.

Weitere Informationen: [www.amsys.de](http://www.amsys.de)