

# Drucksensoren

**Im Bereich der Sensorik spielt die Druckmessung eine große Rolle. Elektronische Drucksensoren sind in einer Vielzahl unterschiedlicher Anwendungen in der Industrie, im Konsumerbereich und natürlich in der Kfz-Elektronik zu finden. Je nach Anwendung ist der Absolutdruck, der Relativdruck oder der Differenzdruck zu messen.**

## Allgemeines

Die Anforderungen an Drucksensoren in Bezug auf Genauigkeit und Messbereichsgrenzen können je nach Anwendung sehr unterschiedlich sein. Im industriellen Bereich kommen Drucksensoren häufig in sicherheitsrelevanten Anwendungen zum Einsatz, sodass insbesondere hier sehr hohe Anforderungen an die Zuverlässigkeit gestellt werden.

Im internationalen Einheitensystem wird Druck in Pascal angegeben, was wiederum der Quotient aus Kraft (F) pro Fläche (A)

ist. Da die Einheiten für Kraft Newton und für die Fläche Quadratmeter sind, ist  $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$ .

100.000 Pascal entsprechen wiederum 1 Bar. Der barometrische Luftdruck wurde früher in mbar und heute in hPa angegeben. Da 1 mbar 1 hPa entspricht, ist keine Umrechnung erforderlich.

Wie bereits erwähnt, muss man unterscheiden zwischen dem Absolutdruck, dem Relativdruck und dem Differenzdruck.

## Absolutdruck

Unter Absolutdruck versteht man den

Druck in Bezug zum absoluten Vakuum. Da der Bezug für den Nullpunkt der luftleere Raum ist, haben alle Messwerte immer ein positives Vorzeichen. Messgeräte und Sensoren für den Absolutdruck haben grundsätzlich nur einen Druckanschluss.

## Relativdruck

Beim Relativdruck gilt als Bezug der aktuell vorherrschende Atmosphärendruck, der je nach Höhe und Wetterbedingungen unterschiedlich groß ist.

Derartige Sensoren erfassen somit den



Bild 1: Das drahtlose Reifendruck-Messsystem SMART-TIRE

Druckunterschied zwischen dem Messdruck und dem atmosphärischen Umgebungsdruck. Beim Relativdrucksensor muss immer ein Druckausgleich zur Umgebung erfolgen.

Für die Fahreigenschaften eines Autoreifens z. B. ist der Relativdruck, d. h. der tatsächliche Druck über dem Außendruck entscheidend. Liegt der gemessene Reifendruck z. B. bei 2,1 bar, so entspricht dies einem Absolutdruck von 2,1 bar + Atmosphärendruck (ca. 3,1 Bar Absolutdruck).

### Differenzdruck

Differenzdruck-Messgeräte und Sensoren verfügen immer über 2 Druckanschlüsse und werden häufig in der Kfz-Industrie eingesetzt. Zur Messung des Differenzdrucks kommen im Grunde genommen Relativdruck-Sensoren zum Einsatz, bei denen kein Ausgleich zum atmosphärischen Umgebungsdruck, sondern zum zweiten Messanschluss erfolgt.

Je nach Referenzanschluss und Bezug sind Messwerte mit positiven und negativen Vorzeichen möglich. Grundsätzlich



Bild 2: Kompakter Reifen-Luftdruck-Prüfer mit Longlife-Lithium-Batterie

können Differenzdruck-Messgeräte auch zur Messung des Relativdrucks genutzt werden, wenn ein Druckanschluss offen gegenüber der Atmosphäre bleibt.

### Atmosphärendruck

Der atmosphärische Luftdruck ist abhängig von den herrschenden Wetterbedingungen und von der Höhe. In Meereshöhe (Normalnull) beträgt der durchschnittliche Atmosphärendruck (Luftdruck) 1013,5 hPa (entsprechend dem Gewicht der gesamten Luftschicht oberhalb der Erdoberfläche). Mit zunehmender Höhe nimmt der Luftdruck ab, und zwar um ca. 12,3 hPa je 100 m. Je höher wir kommen, desto weniger belastet uns der Schweredruck der Luftschicht. Alle 5.500 m Höhenanstieg kann man etwa von einer Halbierung des Luftdrucks ausgehen.

Damit überhaupt vergleichbare Luftdruckangaben möglich sind, wird in der Meteorologie der atmosphärische Luftdruck grundsätzlich auf Meereshöhe bezogen.

### Luftdruck und Wetter

Der atmosphärische Luftdruck ist sehr eng mit der Wetterlage verknüpft. Für die Wettervorhersage spielen vor allen Dingen Luftdruckveränderungen und die Geschwindigkeit der Veränderungen eine entscheidende Rolle. Bereits sehr kleine Luftdruckschwankungen können wetterrelevant sein, während der absolute Luftdruck nur wenig über das Wetter aussagt.

So kann es bei 995 hPa regnen, stürmen oder die Sonne scheinen. Lediglich die Wahrscheinlichkeit, das es bei niedrigem Luftdruck mehr regnet als bei hohem Luftdruck, ist größer. Genauso wenig kann ein Steigen oder Fallen des Luftdrucks direkt mit Sonne oder Regen interpretiert werden.

Für die Wettervorhersage ist der Kurvenverlauf des Luftdrucks entscheidend.

Drucksensoren zur Erfassung des barometrischen Luftdrucks müssen somit eine recht hohe Auflösung aufweisen, wobei

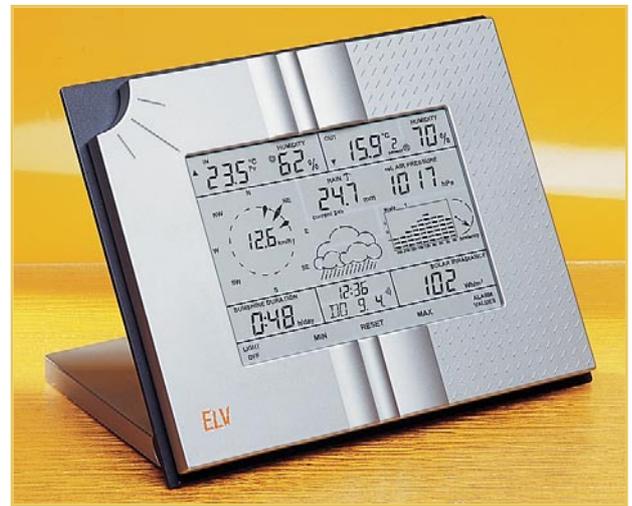


Bild 3: ELV-Funk-Wetterstation WS 2500

ein Messbereich von ca. 300 hPa (ca. 800 - 1100 hPa) durchaus ausreicht.

### Anwendungsgebiete für Drucksensoren

Anwendungsgebiete für Drucksensoren sind derart vielfältig, dass wir im Rahmen dieses Artikels nur auf einige typische Beispiele eingehen können.

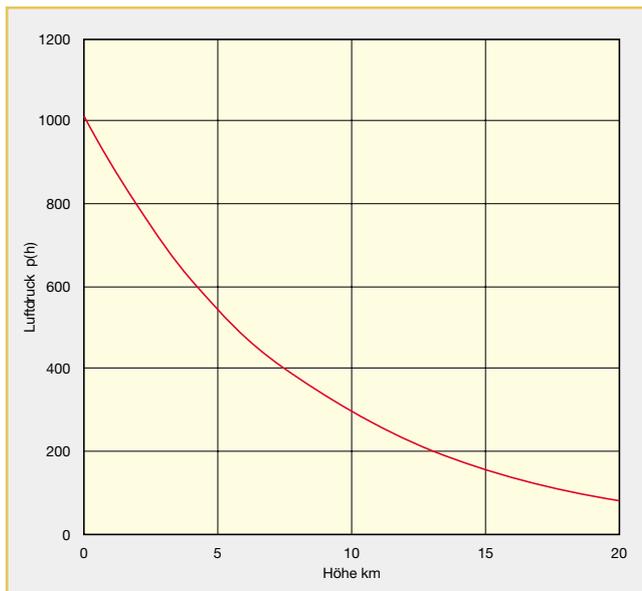
Ein sehr breites Anwendungsgebiet für elektronische Drucksensoren ist im Bereich der industriellen Fertigung zu finden, wo Drucksensoren sowohl zur Steuerung als auch zur Überwachung von unterschiedlichen Prozessen zum Einsatz kommen. Die Aufgabe des Sensors ist grundsätzlich die physikalische Größe des Drucks in eine proportionale elektrische Größe umzuwandeln. Je nach Anwendungsfall kann es dabei zu sehr hohen Anforderungen in Bezug auf Zuverlässigkeit und Messbereich kommen. So kann es vorkommen, dass Drücke von mehreren Hundert bzw. Tausend Bar zu überwachen sind, und in sicherheitsrelevanten Systemen darf es nicht zum Ausfall des Sensors kommen.

Drucksensoren im industriellen Einsatz müssen Umwelteinflüssen wie Hitze, Kälte, Nässe oder korrosiven Medien standhalten. Je nach Aufgabe kommen dabei unterschiedliche Technologien und Gehäuseausführungen zum Einsatz. Ohne Drucksensoren wären z. B. pneumatische Steuerungen undenkbar.

Ein weiteres breites Anwendungsfeld für Drucksensoren ist der Kfz-Bereich, wo Sicherheit und Zuverlässigkeit meistens oberstes Gebot sind. Denken wir nur an Drucksensoren in hydraulischen Bremskraftverstärkern von Lastkraftwagen, wo ein Ausfall fatale Folgen hätte. Auch die moderne Motorentechnik kommt ohne Drucksensoren nicht aus.

Neben Steuerungs- und Sicherheitsaufgaben können Drucksensoren im Kfz-Bereich auch für mehr Komfort sorgen. Ein gutes Beispiel dafür ist das drahtlose Reifendruck-Messsystem SMART-TIRE in Abbildung 1.

Das SMART-TIRE-System besteht aus

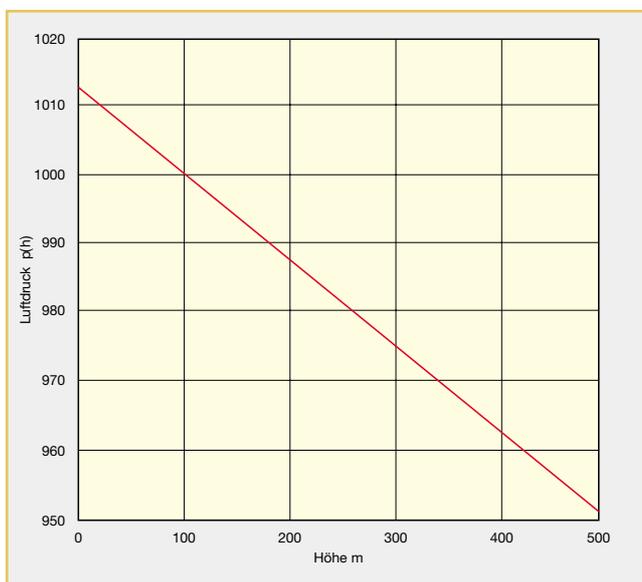


**Bild 4:**  
Luftdruck als  
Funktion der Höhe  
(0 .. 20 km)

einem programmierbaren, interaktiven Displaymodul, das in Sicht- und Reichweite des Fahrers angebracht wird. In jedem Reifen befinden sich auf den Felgen installierte Sensoren, die den Innendruck und die Innentemperatur messen und die jeweiligen Daten an das Displaymodul senden. Das Displaymodul, welches auf bestimmte Grenzwerte eingestellt ist, zeigt die Radposition und den Messwert an. Bei Abweichungen zum normalen Druck oder zur Temperatur warnt das System den Fahrer durch akustische und optische Signale. Die Batterielebensdauer der Sensormodule beträgt etwa 5 Jahre und somit in der Regel weitaus mehr als ein Reifensatz.

Einfache preiswerte Drucksensoren kommen z. B. in digitalen Reifen-Luftdruck-Prüfgeräten zum Einsatz. Der kompakte Reifen-Luftdruck-Prüfer mit Long-life-Lithium-Batterie in Abbildung 2 hat einen Messbereich von 0,3 Bar bis 10 Bar.

Hochwertige Luftdrucksensoren zur Messung des barometrischen Luftdrucks



**Bild 5:** Luftdruck als  
Funktion der Höhe  
(0 .. 500 m)

werden z. B. in elektronischen Wetterstationen zur Anzeige des aktuellen Luftdrucks, der Luftdruckveränderungen und Tendenzen sowie zur Berechnung von Wettervorhersagen eingesetzt. Ein Beispiel dafür ist die ELV-Funk-Wetterstation WS 2500 (Abbildung 3), die den Luftdruck wahlweise in hPa oder mmHg anzeigen kann, über eine grafische Anzeige der Luftdruckveränderungen verfügt und aufgrund von Luftdruckveränderungen auch Berechnungen zur Wettervorhersage vornimmt. Während die Anzeige mit 1 hPa Auflösung erfolgt, arbeitet der Sensor intern sogar mit 0,1 hPa Auflösung.

Da zwischen Luftdruck und Höhe ein direkter Zusammenhang besteht, werden Sensoren zur Messung des barometrischen Luftdrucks auch in Höhenmessern eingesetzt. Derartige Höhenmesser sind zwar genau, müssen jedoch nach der jeweiligen Wetterlage kor-

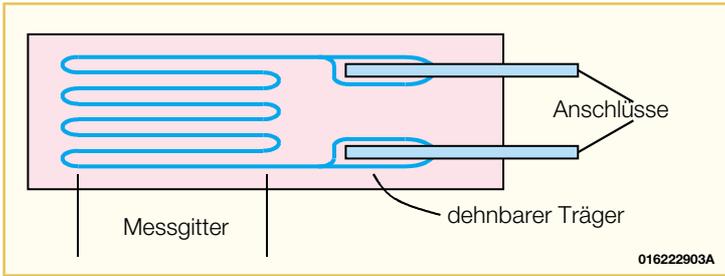


**Bild 6:** Das ELV-Modellbau-Telemetrie-System

rigiert werden, da der aktuelle Luftdruck einen erheblichen Einfluss auf die Höhenanzeige hat. Die Korrektur ist einfach, wenn die Höhe über dem Erdboden angezeigt werden soll, da dann beim Start der Messung die Anzeige am Erdboden einfach auf Null zu stellen ist.

Der Zusammenhang zwischen Luftdruck und Höhe ist in Abbildung 4 zu sehen. Über eine große Höhendifferenz von 20 km (in Abbildung 4) erhalten wir eine Logarithmusfunktion. Wird hingegen die Funktion über einen kleinen Höhenbereich betrachtet, wie in Abbildung 5, so können wir annähernd von einer linearen Funktion ausgehen. Die Auswertung der linearisierten Kurve ergibt je hPa Luftdruckänderung einen Höhenunterschied von ca. 8,1 m.

Ein Beispiel für die Höhenmessung nach dem Luftdruckprinzip ist das ELV-Mo-



**Bild 7: Typischer Aufbau eines Dehnungsmessstreifens (DMS)**

dellbau-Telemetrie-System in Abbildung 6.

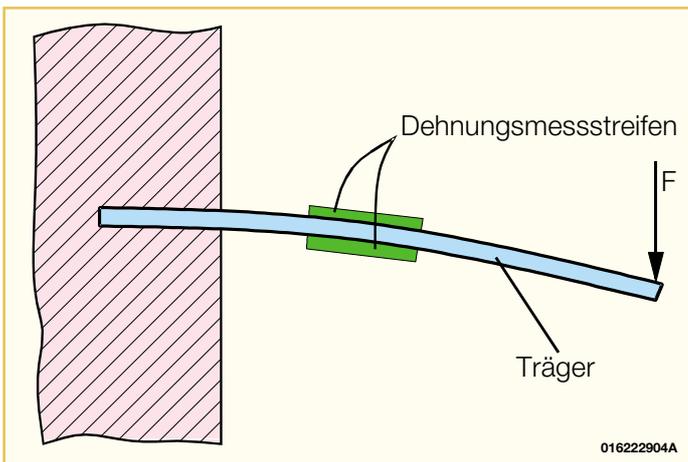
Die Messung des Luftdrucks erfolgt mit einem hochwertigen Drucksensor, dessen Daten dann digital von einem Mikroprozessor ausgewertet werden. Für die Höhenberechnung wird vor dem Flug ein Referenzdruck am Erdboden gemessen, der dann aus praktischen Gründen als Nullpunkt angenommen wird.

### Aufbau elektronischer Drucksensoren

Als Nächstes wollen wir nun den Auf-

sich um passive Widerstände bzw. Widerstandsbahnen, die bei Dehnung oder Stauchung den Widerstandswert verändern. Die Änderung des Widerstandswertes ist proportional zur Dehnung oder Stauchung.

Das wirksame Messelement besteht in der Regel aus einem Widerstandsdraht, der zickzack- oder schleifenförmig, wie in Abbildung 7, auf einem dehnbaren Träger (z. B. Kunststoff) aufgebracht ist. Durch Verformung des DMS bei Druck kommt es zur Verlängerung oder Verkürzung der Widerstandsbahnen und somit auch zur Veränderung des elektrischen Widerstandes.

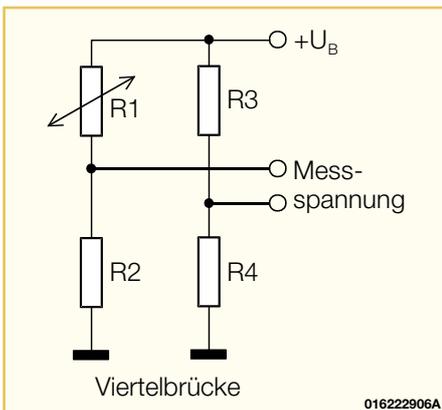


**Bild 8: Zwei auf einem Träger angebrachte DMS bei Belastung durch die Kraft F**

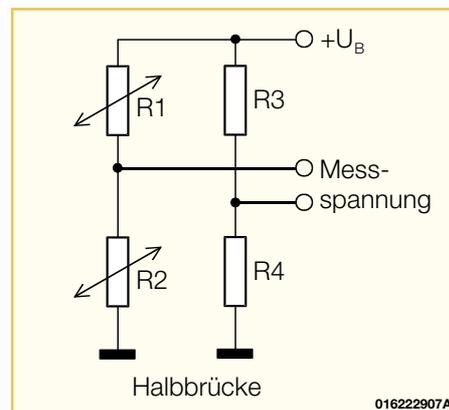
bau von elektronischen Drucksensoren näher betrachten, die entweder mit Dehnungsmessstreifen aufgebaut sind oder als Halbleitersensoren mit Widerstandsbahnen nach dem piezo-resistiven Effekt arbeiten.

Bei Dehnungsmessstreifen handelt es

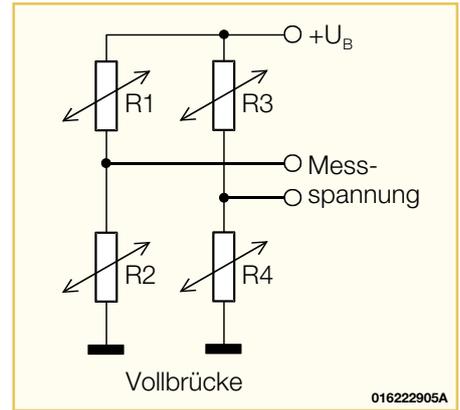
Abbildung 8 verdeutlicht diese Funktion. Auf dem Träger sind sowohl an der Oberseite als auch an der Unterseite jeweils ein Dehnungsmessstreifen angebracht. Bei der eingezeichneten Belastung durch die Kraft F dehnt sich der obere Messstreifen und der untere wird gestaucht. Als Materialien für



**Bild 9: Wheatstonesche Messbrücke als Viertelbrücke**



**Bild 10: Wheatstonesche Messbrücke als Halbbrücke**



**Bild 11: Wheatstonesche Messbrücke als Vollbrücke**

den Widerstand bzw. die Widerstandsbahnen verwendet man Metalle mit kleinem Temperaturkoeffizienten (z. B. Konstantan, Platin-Iridium oder Nickel-Chrom-Legierungen).

Für Messungen werden Dehnungsmessstreifen meistens in Widerstandsbrückenschaltungen (Wheatstonesche Messbrücke) eingesetzt. Bei den Brückenschaltungen unterscheidet man zwischen der Viertelbrücke, der Halbbrücke und der Vollbrücke. Bei der Viertelbrücke in Abbildung 9 haben wir einen aktiven Brückenarm und drei passive mit Festwiderständen. Mit der Halbbrücke in Abbildung 10 erreichen wir eine höhere Empfindlichkeit. Die DMS sind auf dem Träger so zu befestigen, dass bei Druckbelastung ein Messstreifen gedehnt und der andere gestaucht wird.

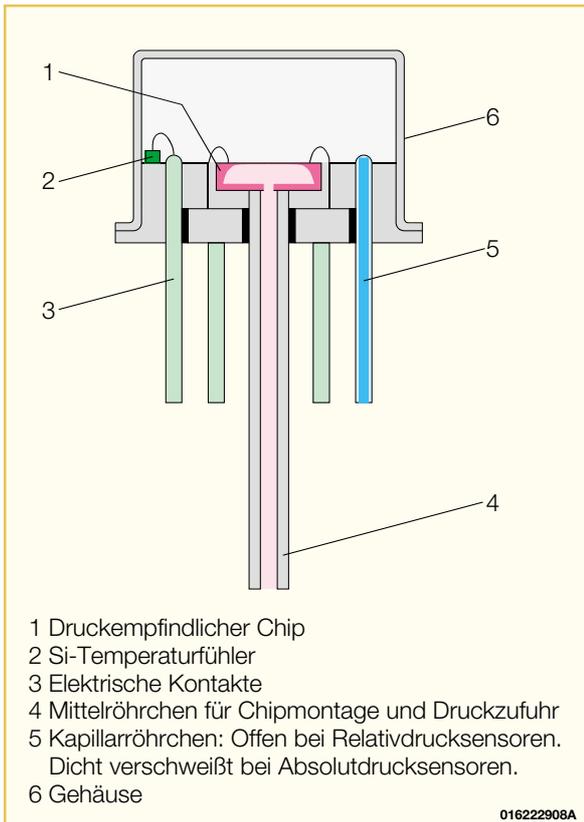
Die höchste Empfindlichkeit wird mit der Vollbrücke in Abbildung 11 erreicht. Bei der Vollbrücke müssen dann bei Druckbelastung R 1 und R 4 gedehnt und R 2 und R 3 gestaucht werden oder umgekehrt.

### Silizium-Drucksensoren

Drucksensoren in Halbleiter-Technologien haben wesentliche Vorteile gegenüber konventionellen Messstreifen. Neben einer höheren Empfindlichkeit haben diese Sensoren eine gute Linearität und sehr kleine Druck- und Temperatur-Hysteresen. Durch eine ermüdungsfreie monokristalline Silizium-Membran besteht auch eine sehr hohe Lastwechselfestigkeit. Weitere Vorteile sind kompakte Bauweisen und kurze Ansprechzeiten.

Der wesentliche Nachteil von Silizium-Drucksensoren ist die Temperaturabhängigkeit, sodass man um Schaltungsmaßnahmen zur Temperaturkompensation nicht herumkommt.

Die Messzelle besteht aus einem Systemchip mit einer dünn geätzten Silizium-Membran, in den Widerstandsbahnen strukturiert sind. Widerstandsänderungen nach



**Bild 12: Aufbau eines modernen Silizium-Drucksensors von Siemens**

dem piezo-resistiven Effekt kommen dann durch druckabhängige Durchbiegungen der Membran zustande. Die Piezo-Widerstände werden meistens intern als Vollbrücke verschaltet. Der physikalische Aufbau eines modernen Silizium-Drucksensors von Siemens ist in Abbildung 12 skizziert.

Bei diesem Sensor ist der druckempfindliche Chip (1) direkt auf ein Röhrchen montiert, durch das auch der zu messende Luftdruck zugeführt wird. Das Kapillarröhrchen (5) ist bei Relativdruck-Sensoren offen und wird bei Absolutdruck-Sensoren nach der Evakuierung des Gehäuses (6) dicht verschweißt.

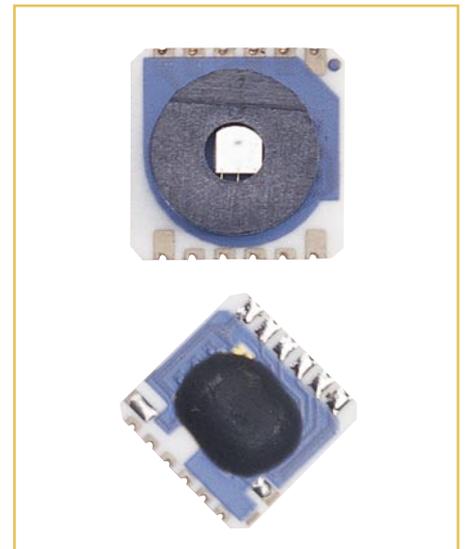
Ein integrierter Silizium-Temperaturfühler (2) kann direkt zur Temperaturkompensation genutzt werden. Dieser Sensortyp wurde bereits in den ELV-Wetterstationen WS 7001 und WS 9000 zur Erfassung des barometrischen Luftdrucks eingesetzt.

Ein weiteres Beispiel für moderne piezo-resistive Drucksensoren ist in den Innensensoren der ELV-Funk-Wetterstationen (Abbildung 13) zu finden. Hier werden bereits werkseitig kalibrierte Miniatur-Sensor-Module (Abbildung 14) eingesetzt, die mit einem eigenen integrierten Mikrocontroller, einen ADC und einen PROM ausgestattet sind. Im PROM sind 6 unterschiedliche sensorspezifische Parameter für den Softwareabgleich gespeichert.

Die vom Drucksensor und vom Temperatursensor kommenden analogen Informationen werden chipintern jeweils in 16 Bit-Werte gewandelt und über den digitalen Bus ausgegeben.



**Bild 13: Moderne piezo-resistive Drucksensoren finden Einsatz in den Innensensoren der ELV-Funk-Wetterstationen**



**Bild 14: Werkseitig kalibrierte Miniatur-Sensor-Module**

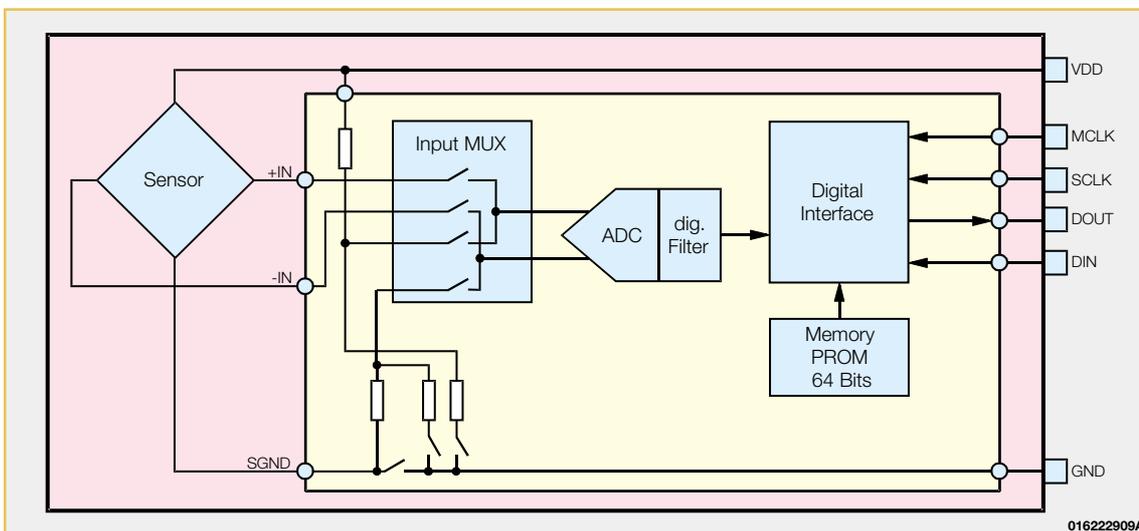
Der Sensor wurde speziell für Barometeranwendungen konzipiert und hat einen Messbereich von 300 hPa bis 1100 hPa.

Die Kommunikation mit einem externen Mikrocontroller erfolgt über einen digitalen Drei-Draht-Bus. In Abbildung 15 ist die interne Struktur des Bausteins dargestellt, der ohne weitere externe Beschaltung auskommt.

Die Auflösung des Drucks beträgt 0,1 hPa und bei korrekter softwaremäßiger Temperaturkompensation ist im Bereich von 750 hPa bis 1100 hPa eine Genauigkeit von  $\pm 0,5$  hPa möglich.

Aufgrund der geringen Betriebsspannung von 2,2 V - 3,6 V und des geringen Stromverbrauchs (0,5  $\mu$ A im Stand-by-Mode und 1 mA während des Messvorgangs) ist dieser Baustein auch sehr gut für mobile Anwendungen geeignet.

Wird z. B. jede Sekunde eine Druck- und eine Temperaturmessung durchgeführt, beträgt der durchschnittliche Stromverbrauch lediglich 5  $\mu$ A. **ELV**



**Bild 15: Interner Aufbau des in vielen ELV-Applikationen eingesetzten vorabgeglichene Drucksensor-Moduls**