

# WENN'S GENAU SEIN SOLL

Digital kompensierte Drucktransmitter zeigen die Grenzen des Machbaren

Je wichtiger die Messgenauigkeit wird, umso enger sind die am Markt verfügbaren Drucktransmitter auf bestimmte Applikationen fokussiert. Die Keller AG für Druckmesstechnik hat ein Konzept entwickelt, das die Zwänge der Messaufgabe von den Wünschen der Anwender entkoppelt und eröffnet damit neue Freiheitsgrade.

Schon in den ersten Jahren der Mikroprozessortechnik hat die Keller AG für Druckmesstechnik Konzepte der digitalen Temperaturkompensation und Signalverarbeitung untersucht und als einer der ersten am Markt mit der Herstellung von Tauch-Computern und digitalen Manometern umgesetzt. Mit den Serien 33 X, 35 X und 36 X wurde dieses Konzept vor fast 10 Jahren auch für Drucktransmitter realisiert: Schnellere Messung und Analogausgang statt Anzeige, sowie ein erheblich erweiterter Temperatur-Bereich.

## Schwimmend eingebauter Sensor

Zeitgleich erforderten immer genauere Elektronik-Messverfahren die kontinuierliche Weiterentwicklung der ölgefüllten Druckmesszellen. Denn jede mechanische Verbindung zwischen dem Silizium-Drucksensor und einem irgendwie gearteten Gehäuse leitet von aussen wirkende Kräfte an den Sensor weiter und führt dort zu Schein-Messsignalen. Das geht soweit, dass sich an unvorteilhaft konstruierten Druckaufnehmern der Nullpunkt während der Montage mit dem Drehmoment am Schraubenschlüssel verändern lässt. Wenn dann noch die Materialien von Druckanschluss und Anschlussstutzen des Messpunktes verschieden sind, kommen im Betrieb durch unterschiedliche Materialausdehnung noch prozessabhängige Kräfte aus Temperaturveränderungen dazu.

Auch beim schwimmenden Einbau des Silizium-Drucksensors zeigt er zwar nach wie vor die für ihn typische Temperaturabhängigkeit des Ausgangssignals TKN (TK Nullpunkt) und TKE (TK



Digital kompensierte Drucktransmitter stehen in diversen Bauformen für unterschiedlichste Applikationen zur Verfügung (oben abgebildet: Serie 35 X und Serie 33 X).

Empfindlichkeit), aber die ist jetzt als charakteristische Eigenschaft des individuellen Sensors zu verstehen und als solche reproduzierbar. Als Temperatursensor wird idealerweise die Widerstandsmessbrücke des Drucksensors selbst genutzt. Ihr Gesamtwiderstand ist individuell und gut messbar temperaturabhängig. Was am Anfang der Silizium-Drucksensoren, vor ca. 30 Jahren, erhebliche Probleme verursachte, kann heute vorteilhaft genutzt werden.

Die bei gegebener Temperatur für den einzelnen Sensor typische Nichtlinearität ist beim heutigen Stand des mikro-mechanischen Sensordesigns hochgradig reproduzierbar. Aber die Effekte sind stark temperaturabhängig. Deshalb müssen Drucktransmitter bei mehreren Temperaturen kalibriert werden und mögliche Messabweichungen sind am besten

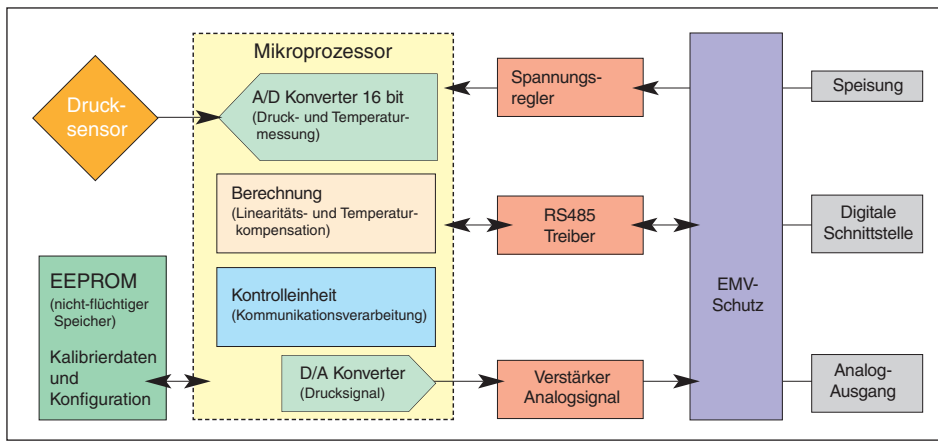
über einer von den Koordinaten Druck und Temperatur aufgespannten Fläche darzustellen.

## Reproduzierbarkeit als Basis

Reproduzierbare Daten für Temperatur und Druck sind die Basis der per Mikroprozessor berechenbaren polynomischen Kompensation. Jeder vom Drucktransmitter ausgegebene Messwert wird rechnerisch mit Bezug auf die im Verlauf der Werkskalibration ermittelten Daten der Stützpunkte berechnet. Es hat sich gezeigt, dass die sensor- und temperaturbedingten Abweichungen am besten mit einem Polynom 3. Ordnung kompensiert werden können. Es hat die Form:

$$P(S,T) = A(T) \cdot S^0 + B(T) \cdot S^1 + C(T) \cdot S^2 + D(T) \cdot S^3$$

Die temperaturabhängigen Koeffizienten



Blockdiagramm des digital kompensierten Drucktransmitters. Neben der digitalen Kompensation per Mikroprozessor erschliesst vor allem die elektrische Entkopplung von Messsignal und Ausgangssignal völlig neue Applikationsvorteile.

A(T) ... D(T) werden ebenfalls aus einem Polynom 3. Ordnung berechnet. Im Betrieb werden die analogen Signale von Druck- und Temperatursensor mittels eines 16 bit A/D-Wandlers dem Mikroprozessor zur Verfügung gestellt, der aus der in einem EEPROM abgespeicherten Kalibrierdaten-Matrix die entsprechenden Werte für die Kompensations-Koeffizienten ermittelt und dann mit obiger Gleichung die exakten Druckwerte berechnet. Bei einer Messzeit von ca. 2 ms werden diese Berechnungen mindestens 400 Mal pro Sekunde durchgeführt.

Das zu jedem Messwert gehörende analoge Ausgangssignal wird völlig flexibel entsprechend der vom Anwender durchgeführten Parametrierung mittels D/A-Wandler und nachfolgendem Endverstärker erzeugt. Am verpolungs- und kurzschlussicheren Ausgang stehen standardmässig 0...10 V oder 4...20 mA (2-Leiter Technik) zur Verfügung, zusätzlich die digitale Schnittstelle RS485. Durch die Erzeugung des Ausgangssignals aus den im Mikroprozessor berechneten Werten ist es in weiten Bereichen unabhängig skalierbar. Ein Turndown um den Faktor x10, also die freie Zuordnung von Nullpunkt und Endwert des Ausgangssignals zu einem Anfangs- und Endwert der Messgrösse, oder applikationsspezifische Kennlinien (z.B. Füllstand in liegenden Tanks) sind ebenso machbar, wie ein völlig invertiertes Ausgangssignal.

### Parametrierung nach Wunsch

Der Schlüssel zur anwendungsspezifischen Parametrierung ist die RS485-

Schnittstelle. Darüber lassen sich z.B. Grundinformationen wie die Seriennummer oder der Lieferzustand bzgl. Druckmess- und Temperaturbereich in Erfahrung bringen. Die aktuellen Druckmesswerte können in unterschiedlichen Einheiten ausgegeben werden. Wird der Transmitter zur Erfassung abgeleiteter druckabhängiger Prozessgrößen eingesetzt, so lassen sich auch diese numerisch korrekt ausgeben. Dazu gehören Durchfluss (Druckgefälle an einer Blende), Füllstand bzw. Pegel (Druck am Tankboden bzw. im Peilrohr in definierter Tiefe), Differenzdruck (Druckdifferenz ermittelt mit zwei Messzellen) oder Gasdichte (Druck bei gegebenem Volumen).

Um den Transmitter optimal in geregelten Prozessen einsetzen zu können, steht ein digital einstellbares Tiefpassfilter zur Unterdrückung kurzzeitiger Spitzen zur Verfügung.

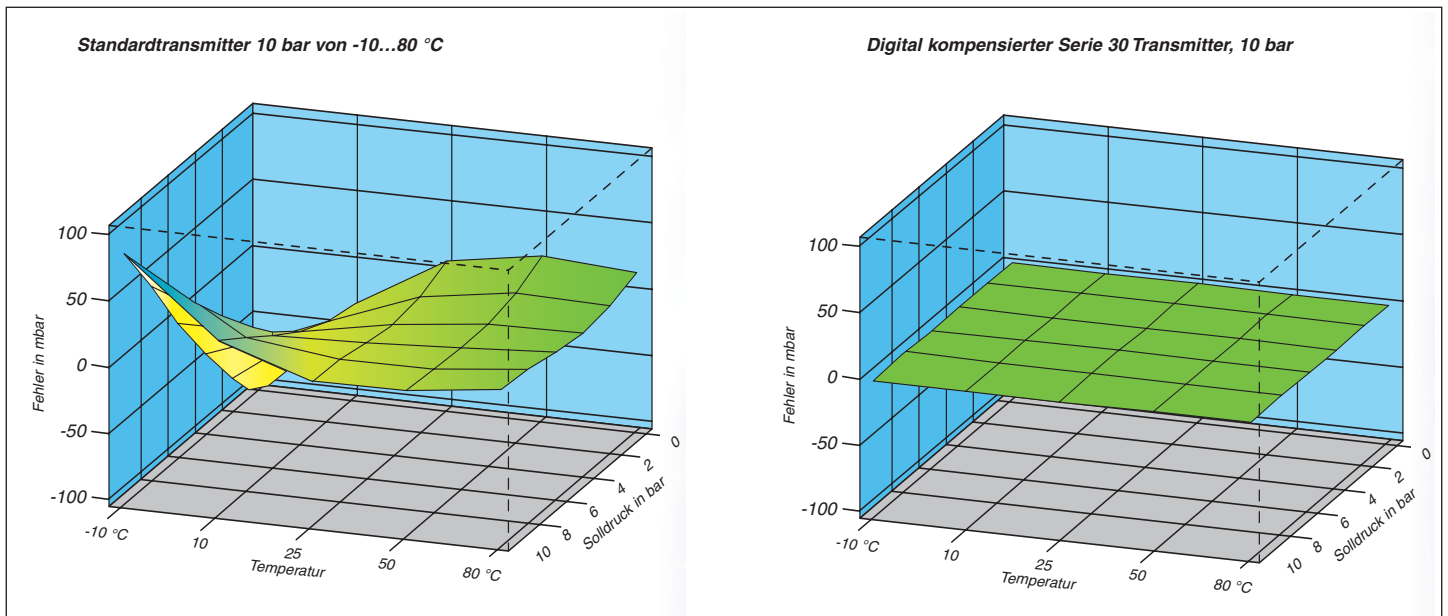
Die digitale Schnittstelle arbeitet mit einem offen gelegten Master/Slave-Protokoll wobei die Datenübertragung mit einer CRC16 Prüfsumme abgesichert ist. Bis zu 128 Transmitter können im Busbetrieb in Serie abgefragt werden. Zur Messdatenerfassung mit Grafik steht ein entsprechendes kostenloses Programm zur Verfügung, zusätzlich eine DLL und Treiber für LabView, um die Einbindung in andere Applikationen zu vereinfachen.

### Was heisst genau?

Dieser Beitrag beschreibt die Eigenschaften einer Serie von hochgenau messenden Drucktransmittern. Die in nationalen Referenz-Laboratorien verfügbaren Primärstandards für die Messgrösse Druck (Druckwaagen) bieten Messunsicherheiten („Genauigkeit“) von unter  $\pm 0,01\%$ . In den Kalibriereinrichtungen industrieller Drucktransmitter-Produktion findet man in aller Regel rückführbare, automatische Primärstandards mit einer Messunsicherheit von  $\pm 0,025\%$ . Sie liefern die Referenzwerte



Serie 36 X W



Die 3D-Darstellung der Messfehler eines Standard-Transmitters und eines digital kompensierten Transmitters zeigt insbesondere die wesentlich verbesserte Unterdrückung von Temperatureinflüssen.

zur Kalibrierung der Drucksensoren. Diese Prozentangaben beziehen sich auf den jeweiligen Druck-Messpunkt und bezeichnen die statistische Abweichung vieler Messungen bei einem gegebenem Druck. Das Fehlertoleranzband von Drucktransmittern bezieht sich – falls nicht besonders gekennzeichnet – auf den jeweiligen Endwert des Messbereichs (FS = full scale). Bei einigen Herstellern werden die Fehler von Nichtlinearität und Hysterese und die zusätzlichen Fehler durch Temperaturänderungen getrennt angegeben. Die Keller AG verwendet für die digital kompensierten Drucktransmitter zur Sicherheit der Anwender die (Gesamt-)Fehlerband-Methode für einen spezifizierten Temperaturbereich. Im Temperaturbereich zwischen +10 °C ...+40 °C liegt die maximale Messunsicherheit (statische Bedingungen für Temperatur und Druck) innerhalb  $\pm 0,05$  %FS. Der ausserordentliche Qualitätssprung in Folge der digitalen Kompensation zeigt sich besonders in der geringen Aufweitung des Fehlerbandes auf  $\pm 0,1$  %FS bei Erweiterung des kompensierten Temperaturbereichs auf -10 °C ... +80 °C, also von  $\Delta T = 30$  K auf  $\Delta T = 90$  K.

### Digitale Transmitter – optimierte Prozesse

Applikationen für exakte Druckmessung sind beliebig vielfältig. Ein typischer Einsatz ist die Pegel- oder Niveaumessung der Wasserversorger zur Beobachtung des Grundwasserspiegels oder zur

Steuerung von Pumpen. Der digitale Drucktransmitter kann hier den Erfordernissen der Messstelle entsprechend genau skaliert werden. Mit der vergleichsweise konstanten Umgebungstemperatur lässt sich eine Messbereichspreizung bis um den Faktor x10 realisieren.

In der chemischen Verfahrenstechnik wird an diversen Messstellen zur exakten Prozessführung hohe Genauigkeit verlangt. Und insbesondere in der Lebensmittelindustrie eine hohe thermische Wiederholgenauigkeit, also zuverlässige Messwerte nach Durchführung von Reinigungszyklen. Für die Lebensmittelproduktion steht bereits ein spezieller spaltfreier Messkopf zur Verfügung.

Auch an Motoren- und Getriebeprüfständen ist die Genauigkeit der digital kompensierten Drucktransmitter gefragt. Die starken Temperaturschwankungen im Bereich der Prüfstände werden optimal kompensiert und mit 400 Messungen pro Sekunde überschreiten die Transmitter meist deutlich die geforderte Dynamik.

Mit der ortsgleichen Messung von Druck und Temperatur im Drucksensor eignen sich die digital kompensierten Drucktransmitter zur Messung der Gasdichte, wie z.B. in Hochspannungsschaltern, die mit Schwefelhexafluorid zur Vermeidung von Lichtbögen gefüllt sind. Sie werden auch zur Füllmengenmessung z.B. in Sauerstoffflaschen eingesetzt.

Der integrierte Mikroprozessor samt digitaler Schnittstelle und damit der Zugriff auf die Parameter des Ausgangssignals (Abbildung der Messwerte auf die Signalwerte) eröffnet noch ganz andere Applikationsfelder. Dazu gehört die Füllstandmessung in nicht-geraden Tanks und ihre Darstellung in echten Mengeneinheiten (z.B. Liter) statt in Füllhöhe. Und durch die Verwendung der Wurzelfunktion samt Verbindung zu einem zweiten Drucktransmitter kann über den Druckabfall an einem Venturi-Rohr der Massedurchfluss ebenfalls direkt angezeigt werden.

### Zusammenfassung

Die digitale Kompensation mechanischer und thermisch bedingter Messfehler führt in Verbindung mit einem optimierten mechanischen Design zu aussergewöhnlich guten Messeigenschaften. Sensoren mit hoher Langzeitstabilität und integriertem Temperatursensor sind die Voraussetzung für Präzision. Mit der quasi Entkoppelung des Ausgangssignals vom Messsignal durch den eingesetzten Mikroprozessor werden neue Freiheiten zur Darstellung applikationsspezifischer Kennlinien oder Messgrößen erschlossen. Die hier vorgestellten Drucktransmitter bieten für eine Vielzahl von Applikationen einen Quantensprung in der Messqualität.

Autor:  
BernhardVetterli, Dipl. El.-Ing.