



(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2017 131 066.5**  
 (22) Anmeldetag: **22.12.2017**  
 (43) Offenlegungstag: **27.06.2019**

(51) Int Cl.: **G01L 27/00 (2006.01)**  
**G01L 9/12 (2006.01)**

(71) Anmelder:  
**Endress+Hauser SE+Co. KG, 79689 Maulburg, DE**

(74) Vertreter:  
**Andres, Angelika, Dipl.-Phys., 79576 Weil am Rhein, DE**

(72) Erfinder:  
**Karweck, Lars, 79589 Binzen, DE; Schlachter, Marc Andreas, 79664 Wehr, DE; Blansche, Christian, 79618 Rheinfeldern, DE; Trunzer, Wolfgang, 79540 Lörrach, DE; Ruhnau, Andreas, 79650 Schopfheim, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

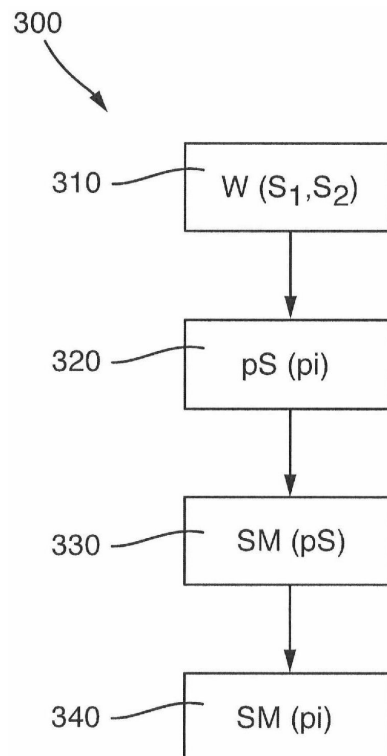
|    |                 |    |
|----|-----------------|----|
| DE | 197 32 546      | C1 |
| DE | 195 47 281      | A1 |
| DE | 10 2004 054 644 | A1 |
| DE | 10 2004 056 106 | A1 |
| DE | 10 2007 014 898 | A1 |
| EP | 1 302 755       | A1 |

Rechercheantrag gemäß § 43 PatG ist gestellt.

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.**

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Bereitstellen von kalibrierten Druckmessumformern**

(57) Zusammenfassung: Erfindungsgemäß erfolgt zunächst das Kompensieren 310 des Sensormoduls mit dem Implementieren der Übertragungsfunktion  $W(S_1, S_2)$  in der Messschaltung des Sensormoduls, welche in Abhängigkeit von Primärsignalen  $S_1, S_2$ , Sensormesswerte  $pS$  generiert. Bei einer späteren Sensorkalibrierung 320 werden an der Sensormodulschnittstelle bereitgestellte Sensormesswerte  $pS(p_i)$  als Funktion von anliegenden Druckwerten  $p_i$  erfasst und in einer Kalibrierdatenbank gespeichert. Bei einer späteren Elektronikmodulkalibrierung 330 werden an der Signalisierungsschnittstelle bereitgestellte Messwertesignale  $SM(pS)$  als Funktion von mittels einer Kalibriersignalquelle angelegten Sensormesswerte  $pS$  erfasst und in einer Kalibrierdatenbank gespeichert, wobei die angelegten Sensormesswerte den  $pS(p_i)$  der Sensorkalibrierung entsprechen. Schließlich folgt die Kalibrierprotokollerstellung (340) in welchem den bei der Sensorkalibrierung anliegenden Druckwerten  $p_i$  die bei der Elektronikmodulkalibrierung 330) ermittelten Messwertesignale  $SM(pS(p_i))$  zugeordnet werden.



## Beschreibung

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Bereitstellen von kalibrierten Druckmessumformern.

**[0002]** Druckmessumformer weisen ein Sensormodul, einen Prozessanschluss und ein mit dem Prozessanschluss gekoppeltes Elektronikmodul auf; wobei das Sensormodul ein Sensormodulgehäuse, eine Messschaltung, einen Drucksensor mit einem Verformungskörper, insbesondere in Form einer Messmembran, und einem Messwandler zum Bereitstellen eines ersten analogen Primärsignals, und eines zweiten analogen Primärsignals, der mit dem Verformungskörper funktional verbunden ist, wobei der Drucksensor und die Messschaltung in dem Gehäuse angeordnet sind; wobei der Verformungskörper mit einem Druck beaufschlagbar ist, wobei das erste Primärsignal **S1** eine erste Abhängigkeit von einer druckabhängigen Verformung des Verformungskörpers und einer Temperatur des Drucksensors aufweist, wobei das zweite Primärsignal **S2** eine zweite Abhängigkeit von der druckabhängigen Verformung des Verformungskörpers und der Temperatur des Drucksensors aufweist, die von der ersten Abhängigkeit abweicht, wobei die Messschaltung dazu eingerichtet ist, abhängig von dem ersten Primärsignal **S1** und dem zweiten Primärsignal **S2**, einen Sensormesswert **pS(S1, S2)** zu ermitteln und an einer Sensormodulschnittstelle bereitzustellen; wobei das Elektronikmodul ein Elektronikgehäuse und eine Signalisierungsschaltung aufweist, welche in dem Elektronikgehäuse angeordnet ist, eine Elektronikmodulschnittstelle zum Empfangen des Sensormesswerts **pS** von der Sensormodulschnittstelle und eine Signalisierungsschnittstelle zum Ausgeben eines Messwertsignals **SM(pS)** in Abhängigkeit von dem empfangenen Sensormesswert aufweist. Derartige Druckmessumformer sind beispielsweise von Endress+Hauser unter den Bezeichnungen Cerabar, Deltabar, und Deltapilot erhältlich.

**[0003]** Der modulare Aufbau der Druckmessumformer bietet die Gelegenheit, für verschiedene Messaufgaben und Einsatzorte geeignete Kombinationen von Sensormodulen und Elektronikmodulen zu kombinieren, wobei die meisten Druckmessumformer dazu eingerichtet sind ein analoges Messwertsignal, insbesondere als Stromsignal zwischen 4 und 20 mA auszugeben. Als Nachweis der Messgenauigkeit ist ein Kalibrierprotokoll erforderlich, welches vom Elektronikmodul ausgegebene Messwertsignale definierten Druckwerten **p<sub>i</sub>** zuordnet, mit denen das Sensormodul bei der Kalibrierung beaufschlagt wurde.

**[0004]** Insofern, als die Fertigung und Kompensation von Sensormodulen einerseits und die Fertigung von Elektronikmodulen andererseits getrennt erfolgen, und die Kombination eines Elektronikmoduls mit

einem Sensormodul in einer Endmontage ein weiterer, unabhängiger Vorgang ist, erfordert die Kalibrierung des Druckmessumformers, die eine gemessene Beziehung zwischen anliegenden Druckwerten und tatsächlich ausgegebenen Messwertsignalen dokumentiert, einen großen logistischen Aufwand.

**[0005]** Es ist daher die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, hier Abhilfe zu schaffen. Die Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch das Verfahren gemäß dem unabhängigen Patentanspruch 1.

**[0006]** Das erfindungsgemäße Verfahren dient zum Bereitstellen von kalibrierten Druckmessumformern, wobei ein verfahrensgemäß bereitgestellter Druckmessumformer ein Sensormodul, einen Prozessanschluss und ein mit dem Prozessanschluss gekoppeltes Elektronikmodul aufweist; wobei das Sensormodul ein Sensormodulgehäuse, eine Messschaltung, einen Drucksensor mit einem Verformungskörper, insbesondere in Form einer Messmembran, und einem Messwandler zum Bereitstellen eines ersten analogen Primärsignals, und eines zweiten analogen Primärsignals, der mit dem Verformungskörper funktional verbunden ist, wobei der Drucksensor und die Messschaltung in dem Gehäuse angeordnet sind; wobei der Verformungskörper mit einem Druck beaufschlagbar ist, wobei das erste Primärsignal **S1** eine erste Abhängigkeit von einer druckabhängigen Verformung des Verformungskörpers und einer Temperatur des Drucksensors aufweist, wobei das zweite Primärsignal **S2** eine zweite Abhängigkeit von der druckabhängigen Verformung des Verformungskörpers und der Temperatur des Drucksensors aufweist, die von der ersten Abhängigkeit abweicht, wobei die Messschaltung dazu eingerichtet ist, abhängig von dem ersten Primärsignal **S1** und dem zweiten Primärsignal **S2**, einen Sensormesswert **pS(S1, S2)** zu ermitteln und an einer Sensormodulschnittstelle bereitzustellen; wobei das Elektronikmodul ein Elektronikgehäuse und eine Signalisierungsschaltung aufweist, welche in dem Elektronikgehäuse angeordnet ist, eine Elektronikmodulschnittstelle zum Empfangen des Sensormesswerts **pS** von der Sensormodulschnittstelle und eine Signalisierungsschnittstelle zum Ausgeben eines Messwertsignals **SM(pS)** in Abhängigkeit von dem empfangenen Sensormesswert aufweist;

wobei das Verfahren umfasst:

Kalibrieren des Sensormoduls,

wobei das Kalibrieren des Sensormoduls umfasst:

Beaufschlagen des Sensormoduls mit mehreren definierten Druckwerten **p<sub>i</sub>** und Erfassen der von dem Sensormodul ausgegebenen Sensormesswerte **pS(p<sub>i</sub>)**; und

Speichern von Sensorkalibrierdaten, wobei die Sensorkalibrierdaten bei der Kalibrierung ange-

legte Druckwerte  $p_i$  und die zugehörigen Sensormesswerte  $pS(p_i)$  umfassen;

separates Kalibrieren eines dem Sensormodul zugeordneten Elektronikmoduls,

wobei das Kalibrieren des Elektronikmoduls umfasst:

Verbinden einer Schnittstelle des Elektronikmoduls mit einer Kalibriersignalquelle, wobei die Schnittstelle des Elektronikmoduls beispielsweise eine so genannte Fertigungsschnittstelle oder die Elektronikmodulschnittstelle sein kann;

Ausgeben der aufgezeichneten Sensormesswerte  $pS$  der Sensorkalibrierdaten an die Elektronikmodulschnittstelle mittels der Kalibriersignalquelle;

Erfassen von Messwertsignalen  $SM(pS)$ , insbesondere bei Raumtemperatur, an der Signalisierungsschnittstelle; und

Erstellen eines Kalibrierprotokolls, welches die bei der Kalibrierung des Elektronikmoduls erfassten Messwertsignale den definierten Druckwerten  $p_i$  zuordnet, mit denen das Sensormodul bei der Sensorkalibrierung beaufschlagt wurde.

**[0007]** In einer Weiterbildung der Erfindung wird der Sensormesswert als ein digitales Signal an der Sensormodulschnittstelle ausgegeben.

**[0008]** In einer Weiterbildung der Erfindung ist das Messwertsignal ein Stromsignal, insbesondere ein 4 ... 20 mA Stromsignal.

**[0009]** In einer Weiterbildung der Erfindung umfasst das Verfahren weiterhin das Verbinden des Elektronikmoduls mit dem Sensormodul, insbesondere Verbinden der Sensormodulschnittstelle mit der Elektronikmodulschnittstelle und/oder Montieren des Elektronikgehäuses an dem Sensormodulgehäuse.

**[0010]** In einer Weiterbildung der Erfindung umfasst das Verfahren weiterhin das Kompensieren des Sensormoduls, wobei das Kompensieren vor dem Kalibrieren des Sensormoduls erfolgt.

**[0011]** In einer In einer Weiterbildung der Erfindung umfasst das Verfahren weiterhin das Montieren eines Prozessanschlusses; und das Nachjustieren des Sensormoduls;

**[0012]** Wobei das Montieren eines Prozessanschlusses und das Nachjustieren zwischen dem Kompensieren und dem Kalibrieren des Sensormoduls erfolgt.

**[0013]** In einer Weiterbildung der Erfindung umfasst das Kompensieren des Sensormoduls:

Einbringen des Sensormoduls in eine Kompensationsvorrichtung;

Beaufschlagen mindestens eines Sensormoduls mit mehreren Druckwerten  $p_i$  bei mehreren Temperaturen  $T_j$ ;

Erfassen der zugehörigen ersten und zweiten Primärsignale  $S1(p_i, T_j)$  und  $S2(p_i, T_j)$ ;

Ermitteln einer Wandlerübertragungsfunktion  $W(S1, S2)$  auf Basis der erfassten Signale zum Berechnen von Sensormesswerten;

$$pS(S1, S2) = W(S1(p, T), S2(p, T))$$

so dass für alle  $i, j$  der Sensormesswert  $pS(S1(p_i, T_j), S2(p_i, T_j))$  bis auf einen spezifizierten Toleranzwert  $dp1$  einer vorgegebenen linearen Sensorübertragungsfunktion  $S(p)$  des Drucks  $p$  entspricht, mit dem der Drucksensor beaufschlagt wurde, wobei  $S(p) = a_s * p + S_0$ ;

Implementieren der ermittelten Wandlerübertragungsfunktion  $W(S1, S2)$  in der Messschaltung; und

Entfernen des Sensormoduls aus der Kompensationsvorrichtung.

**[0014]** In einer Weiterbildung der Erfindung umfasst das Nachjustieren des Sensormoduls:

Montieren des Sensormoduls mittels des Prozessanschlusses an einer Sensormodulkalibrierstation;

Beaufschlagen des Sensormoduls mit mindestens zwei Druckwerten  $p_i$ , Erfassen der zugehörigen Sensormesswerte  $pS(p_i)$ ; und

Ermitteln und Implementieren einer nachjustierten Wandlerübertragungsfunktion  $W(S1, S2)$  bzw.  $W(S1, S2, ST)$  in der Messschaltung so dass die Sensormesswerte  $pS(p_i)$  für die mindestens zwei Druckmesswerte  $p_i$  bis auf einen Toleranzwert  $dp2$  der vorgegebenen Sensorübertragungsfunktion  $S(p) = a_s * p + S_0$ ; entsprechen.

**[0015]** In einer Weiterbildung der Erfindung erfolgt das Kalibrieren des Sensormoduls in der Sensormodulkalibrierstation erfolgt durch erneutes Beaufschlagen des Sensormoduls mit mindestens zwei Druckwerten  $p_i$ ; Erfassen der zugehörigen Sensormesswerte  $pS(p_i)$ ; und Speichern der Kalibrierdaten mit den Wertepaaren  $p_i, pS(p_i)$  in einem Datenspeicher.

**[0016]** In einer Weiterbildung der Erfindung wird das Drucksensormodul über mindestens zwei definierte Messbereiche kompensiert und/oder kalibriert, wobei sich ein erster Messbereich von einem zweiten Messbereich hinsichtlich der Spanne unterscheiden.

det, und/oder wobei sich die mittlere Druckdifferenz zwischen den bei der Kalibrierung des Sensormoduls verwendeten Druckwerten im ersten Messbereich von der mittleren Druckdifferenz zwischen den bei der Kalibrierung des Sensormoduls verwendeten Druckwerten im zweiten Messbereich unterscheidet.

**[0017]** Die Erfindung wird nun anhand des in den Zeichnungen dargestellten Ausführungsbeispiels näher erläutert. Es zeigt:

**Fig. 1:** Eine schematische Darstellung eines Ausführungsbeispiels eines mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens bereitgestellten Druckmessumformers;

**Fig. 2:** Eine schematische Darstellung eines Ausführungsbeispiels eines Drucksensors eines mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens bereitgestellten Druckmessumformers; und

**Fig. 3:** Ein Flussdiagramm eines Ausführungsbeispiels des erfindungsgemäßen Verfahrens.

**[0018]** Der in **Fig. 1** dargestellte Druckmessumformer **D** umfasst ein Drucksensormodul **100** und ein Elektronikmodul **200**, das auf dem Drucksensormodul montiert ist.

**[0019]** Das Drucksensormodul **100** umfasst einen Drucksensor **1**, ein Gehäuse **21**, einen Prozessanschluss **41** und eine Messschaltung **61**. Der Drucksensor **1** umfasst, wie näher in **Fig. 2** dargestellt, einen Verformungskörper in Form einer kreisscheibenförmigen, keramischen Messmembran **2**, die mit einem erheblich steiferen kreisplattenförmigen, keramischen Gegenkörper **3** entlang einer umlaufenden Fügestelle **4** unter Bildung einer Messkammer **5** zwischen dem Gegenkörper **3** und der Messmembran **2** druckdicht gefügt ist. Der Drucksensor umfasst einen kapazitiven Messwandler mit zwei Kondensatoren die, zwei durch die druck- und temperaturabhängigen Kapazitäten bestimmte Primärsignale **S1**, **S2** ausgeben. Hierzu weist die Messmembran **2** auf ihrer gegenkörperseitigen Oberfläche eine vollflächige Membranelektrode **7** auf, die beispielsweise eine Metallschicht umfasst, Auf der messmembranseitigen Oberfläche des Gegenkörpers ist eine zentrale, kreisflächenförmige Messelektrode **8** angeordnet, die von einer bezüglich der Membranelektrode **7** in der Ruhelage der Messmembran **2** im wesentlichen kapazitätsgleichen kreisringförmigen Referenzelektrode **9** umgeben ist. Die Referenzelektrode **9** und die Messelektrode **8** sind über metallische Durchführungen **10**, **11** durch den Grundkörper mit der Messschaltung **61** verbunden. Die Membranelektrode **7** kann beispielsweise über die Fügestelle auf Schaltungsmasse gelegt sein.

**[0020]** Die Messschaltung **61** treibt die Elektroden und verarbeitet deren Signale. Ein erstes der Primärsignale **S1** repräsentiert eine Messkapazität  $c_p$

zwischen der Messelektrode **8** und der Membranelektrode **7**, während ein zweites der Primärsignale **S2** eine Referenzkapazität  $c_r$  zwischen der Referenzelektrode **9** und der Membranelektrode **7** repräsentiert.

**[0021]** Die Primärsignale gehen beispielsweise in Form von Hilfsgrößen  $H1 = (S1-S2) / S1$  und  $H2 = S2$  als Argumente in eine Übertragungsfunktion  $W(S1, S2)$  ein, für die also gilt  $W(S1, S2) := V(H1, H2)$ , wobei die Hilfsübertragungsfunktion  $V(H1, H2)$  insbesondere ein Polynom in  $H1$  und  $H2$ . Gegebenenfalls weisen die Übertragungsfunktion  $W(S1, S2)$  und die Hilfsübertragungsfunktion noch temperaturabhängige Terme auf, die von dem Signal eines zusätzlichen Temperatursensors abhängen, der eine Temperatur des Gegenkörpers erfasst. Mittels der Übertragungsfunktion berechnet die Messschaltung **61** einen digitale auszugebenden Sensormesswert  $pS$  und stellt diese an einer Sensormodulschnittstelle **64** bereit.

**[0022]** Beim Kompensieren des Drucksensors, wird der Drucksensor mit einem Feld von Druckwerten über eine für den Drucksensor definierte Messspanne bei zwei oder mehr Temperaturen über einen für den Drucksensor definierten Temperatureinsatzbereich beaufschlagt, um beispielsweise Koeffizienten für die Funktion  $V(H1, H2)$  zu bestimmen, so dass für alle Druckwerte  $p_i$  der jeweils berechnete Sensormesswert  $pS(p_i) = W(S1(p_i, T_j), S2(p_i, T_j))$  bzw.  $pS(p_i) = V(H1(p_i, T_j), H2(p_i, T_j))$  bis auf einen spezifizierten Toleranzwert dem angelegten Druckwert  $p_i$  entspricht. Je nach Zahl der Koeffizienten in den Funktionen kann dies beispielsweise fünf bis zehn Druckwerte bei jeweils drei bis fünf verschiedenen Temperaturen erfordern. Die ermittelten Koeffizienten werden in einem Speicher der Messschaltung hinterlegt um die somit die ermittelte Übertragungsfunktion zu implementieren.

**[0023]** Zweckmäßig wird eine Vielzahl von Sensormodulen (**100**) synchron in einer Kompensationsanlage kompensiert, die einen vergleichsweise kompakten Aufbau haben kann, da nur die Sensormodule ohne Elektronikmodul und vorzugsweise auch ohne Prozessanschluss kompensiert werden.

**[0024]** In einem späteren Fertigungsschritt kann an einem Sensormodul **100** ein Prozessanschluss **41** montiert werden, welcher beispielsweise als Flansch ausgebildet ist und mit dem Gehäuse **21** durch eine stirnseitige Schweißnaht verbunden ist, wie in **Fig. 1** dargestellt. Das Schweißen soll zwar rückwirkungsarm erfolgen, aber völlig ohne Auswirkungen auf die Übertragungsfunktion ist dies kaum möglich. Wenn diese Auswirkungen korrigiert werden sollen, reicht eine Zweipunktmessung bei Raumtemperatur bei beispielsweise am Nullpunkt und an einer spezifizierten oberen Messbereichsgrenze aus, um dann beispielsweise eine korrigierte Konstante

und einen korrigierten Koeffizienten eines linearen Terms in **H1** zu ermitteln, mit denen die implementierte Übertragungsfunktion nachjustieren ist. Hierzu ist das Drucksensormodul in einer in einer Kalibrierstation mit den beiden Druckwerten zu beaufschlagen, und die Abweichungen der Sensormesswerte  $pS(p_i)$  von den  $p_i$  sind zu erfassen.

**[0025]** Zweckmäßig wird unmittelbar im Anschluss an die Implementierung nachjustierten Übertragungsfunktion eine Kalibrierung durchgeführt, wozu das Drucksensormodul mit mehreren Druckwerten  $p_i$  beaufschlagt wird, und die zugehörigen Sensormesswerte  $pS(p_i)$  in einer Kalibrierdatenbank erfasst werden. Damit ist die tatsächlich erzielte Messgenauigkeit eines ersten Teils eines Signalpfades durch den Messumformer dokumentiert.

**[0026]** Das Drucksensormodul wurde zuvor mit einem Drucksensor mit kapazitivem Wandler beschrieben. Grundsätzlich können auch beliebige andere Wandlerprinzipien zum Einsatz kommen zum Beispiel (piezo-)resistive Wandler insbesondere in Form einer Vollbrückenschaltung bei denen die Diagonalspannung ein in erster Näherung druckproportionales erstes Signal **S1** bildet und die Längsspannung ein im Wesentlichen temperaturabhängiges zweites Signal **S2** bildet. Die Art des Wandlers ändert nichts daran, dass nach der Kalibrierung des Sensormoduls ein Kalibrierdatensatz  $pS(p_i)$  bereitgestellt ist.

**[0027]** Ein Elektronikmodul dient bei Feldgeräten der Prozessmesstechnik im Wesentlichen dazu, die Sensormesswerte in einem Format zu signalisieren, das in der jeweiligen Prozessanlage verwendet wird. Hierzu weist ein Elektronikmodul **200** ein Gehäuse **221** und eine Kommunikationsschaltung **261** auf, die in dem Gehäuse angeordnet ist. Die Kommunikationsschaltung **261** des betriebsbereiten Druckmessumformers ist mittels einer Elektronikmodulschnittstelle **262** an eine Sensormodulschnittstelle **64** des Sensormoduls **100** angeschlossen um in Abhängigkeit von den Sensormesswerten  $pS$  ein Messwertsignal  $SM(pS)$  zu ermitteln und dieses an ihrer Signalisierungsschnittstelle **264** auszugeben. Vorliegend ist die Kommunikationsschaltung dazu eingerichtet, zunächst einen Stromwert zu berechnen der den Sensormesswert repräsentiert, und dann ein Gleichstromsignal zu stellen, welches dem berechneten Stromwert entspricht, beispielsweise im Wertebereich 4 ... 20 mA.

**[0028]** Um zu überprüfen und zu dokumentieren, dass eine Gesamtübertragungsfunktion des Druckmessumformers zu korrekten Messwertsignalen führt, wird erfindungsgemäß ein zweiter Teil des Signalpfades, der durch die Kommunikationsschaltung realisiert ist, unabhängig vom Sensormodul aber mit den bei der Kalibrierung des Sensormoduls ermittelten Sensormesswerten  $pS(p_i)$  durch-

geführt. Dazu wird die Elektronikmodulschnittstelle an eine Kalibriersignalquelle angeschlossen, über welche die Kommunikationsschaltung mit den bei der Kalibrierung des Sensormoduls aufgezeichneten Sensormesswerten  $pS(p_i)$  beaufschlagt werden. Die an der Kommunikationsschnittstelle **264** ausgegebenen Messwertsignale  $SM(pS(p_i))$ , werden erfasst und als Wertepaare  $SM(p_i), p_i$  in einem Kalibrierprotokoll aufgezeichnet.

**[0029]** Damit ist der Messgenauigkeit des kompletten Signalpfades dokumentiert, ohne dass der komplette Signalpfad jemals durchgängig getestet werden musste. Dies bedingt im Ergebnis eine große logistische Vereinfachung und Kostenreduzierung bei der Bereitstellung von kalibrierten Messumformern, ohne hinsichtlich der Validität der Kalibrierung Kompromisse eingehen zu müssen.

**[0030]** Der Ablauf einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens soll nochmals kurz anhand von **Fig. 3** zusammengefasst werden.

**[0031]** Zunächst erfolgt das Kompensieren **310** des Sensormoduls mit dem Implementieren der Übertragungsfunktion  $W(S1, S2)$  in der Messschaltung des Sensormoduls, welche in Abhängigkeit von Primärsignalen **S1, S2**, Sensormesswerte  $pS$  generiert.

**[0032]** Bei einer späteren Sensorkalibrierung **320** werden an der Sensormodulschnittstelle bereitgestellte Sensormesswerte  $pS(p_i)$  als Funktion von anliegenden Druckwerten  $p_i$  erfasst und in einer Kalibrierdatenbank gespeichert.

**[0033]** Bei einer späteren Elektronikmodulkalibrierung **330** werden an der Signalisierungsschnittstelle bereitgestellte Messwertsignalen  $SM(pS)$  als Funktion von mittels einer Kalibriersignalquelle angelegten Sensormesswerte  $pS$  erfasst und in einer Kalibrierdatenbank gespeichert, wobei die angelegten Sensormesswerte den  $pS(p_i)$  der Sensorkalibrierung entsprechen.

**[0034]** Schließlich folgt die Kalibrierprotokollerstellung (**340**) in welchem den bei der Sensorkalibrierung anliegenden Druckwerten  $p_i$  die bei der Elektronikmodulkalibrierung **330** ermittelten Messwertsignale  $SM(pS(p_i))$  zugeordnet werden.

## Patentansprüche

1. Verfahren zum Bereitstellen von kalibrierten Druckmessumformern (D), wobei ein verfahrensgemäß bereitgestellter Druckmessumformer (D) ein Sensormodul (100) mit einem Prozessanschluss (41) und ein mit dem Sensormodul (100) gekoppeltes Elektronikmodul (200) aufweist; wobei das Sensormodul (100) ein Sensormodulgehäuse (21), eine Messschaltung (61), einen Druck-

sensor (1) mit einem Verformungskörper (2) und einem Messwandler zum Bereitstellen eines ersten analogen Primärsignals, und eines zweiten analogen Primärsignals, der mit dem Verformungskörper (1) funktional verbunden ist, wobei der Drucksensor (1) und die Messschaltung (61) in dem Gehäuse (21) angeordnet sind;

wobei der Verformungskörper (2) mit einem Druck beaufschlagbar ist, wobei das erste Primärsignal S1 eine erste Abhängigkeit von einer druckabhängigen Verformung des Verformungskörpers (2) und einer Temperatur des Drucksensors (1) aufweist, wobei das zweite Primärsignal S2 eine zweite Abhängigkeit von der druckabhängigen Verformung des Verformungskörpers und der Temperatur des Drucksensors aufweist, die von der ersten Abhängigkeit abweicht,

wobei die Messschaltung (61) dazu eingerichtet ist, abhängig von dem ersten Primärsignal S1 und dem zweiten Primärsignal S2, einen Sensormesswert pS (S1, S2) zu ermitteln und an einer Sensormodulschnittstelle bereitzustellen;

wobei das Elektronikmodul (200) ein Elektronikgehäuse (221) und eine Signalisierungsschaltung (261) aufweist, welche in dem Elektronikgehäuse (221) angeordnet ist, eine Elektronikmodulschnittstelle (262) zum Empfangen des Sensormesswerts pS von der Sensormodulschnittstelle (64) und eine Signalisierungsschnittstelle (264) zum Ausgeben eines Messwertsignals SM(pS) in Abhängigkeit von dem empfangenen Sensormesswert aufweist;

wobei das Verfahren umfasst:

Kalibrieren (320) des Sensormoduls (100), wobei das Kalibrieren des Sensormoduls (100) umfasst: Beaufschlagen des Sensormoduls mit mehreren definierten Druckwerten  $p_i$  und Erfassen der von dem Sensormodul ausgegebenen Sensormesswerte  $pS(p_i)$ ; und Speichern von Sensorkalibrierdaten, wobei die Sensorkalibrierdaten bei der Kalibrierung angelegte Druckwerte  $p_i$  und die zugehörigen Sensormesswerte  $pS(p_i)$  umfassen;

separates Kalibrieren (320) eines dem Sensormodul (100) zugeordneten Elektronikmoduls (200), wobei das Kalibrieren des Elektronikmoduls (200) umfasst: Verbinden einer Schnittstelle des Elektronikmoduls (200) mit einer Kalibriersignalquelle; Ausgeben der aufgezeichneten Sensormesswerte pS der Sensorkalibrierdaten an die Elektronikmodulschnittstelle mittels der Kalibriersignalquelle; Erfassen von Messwertsignalen SM(pS) an der Signalisierungsschnittstelle; und

Erstellen eines Kalibrierprotokolls (340), welches die bei der Kalibrierung des Elektronikmoduls erfassten Messwertsignale den definierten Druckwerten zuordnet, mit denen das Sensormodul bei der Sensorkalibrierung beaufschlagt wurde.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Sensormesswert als ein digitales Signal an der Sensormodulschnittstelle ausgegeben wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei das Messwertsignal ein Stromsignal ist, insbesondere ein 4 ... 20 mA Stromsignal.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, weiterhin umfassend: Verbinden des Elektronikmoduls mit dem Sensormodul, insbesondere Verbinden der Sensormodulschnittstelle mit der Elektronikmodulschnittstelle und/oder Montieren des Elektronikmoduls an dem Sensormodulgehäuse.

5. Verfahren einem der vorhergehenden Ansprüche, weiterhin umfassend: Kompensieren des Sensormoduls, wobei das Kompensieren vor dem Kalibrieren des Sensormoduls erfolgt.

6. Verfahren nach Anspruch 5, weiterhin umfassend: Montieren eines Prozessanschlusses; und Nachjustieren des Sensormoduls; Wobei das Montieren eines Prozessanschlusses und das Nachjustieren zwischen dem Kompensieren und dem Kalibrieren des Sensormoduls erfolgt.

7. Verfahren nach Anspruch 5 oder 6, wobei das Kompensieren des Sensormoduls umfasst: Einbringen des Sensormoduls in eine Kompensationsvorrichtung; Beaufschlagen mindestens eines Sensormoduls mit mehreren Druckwerten  $p_i$  bei mehreren Temperaturen  $T_j$ ; Erfassen der zugehörigen ersten und zweiten Primärsignale  $S1(p_i, T_j)$  und  $S2(p_i, T_j)$ ; Ermitteln einer Wandlerübertragungsfunktion  $W(S1, S2)$  auf Basis der erfassten Signale zum Berechnen von Sensormesswerten;

$$pS(S1, S2) = W(S1(p, T), S2(p, T))$$

so dass für alle  $i, j$  der Sensormesswert  $pS(S1(p_i, T_j), S2(p_i, T_j))$  bis auf einen spezifizierten Toleranzwert  $dp1$  einer vorgegebenen linearen Sensorübertragungsfunktion  $S(p)$  des Drucks  $p$  entspricht, mit dem der Drucksensor beaufschlagt wurde, wobei  $S(p) = a_s * p + S_0$ ; Implementieren der ermittelten Wandlerübertragungsfunktion  $W(S1, S2)$  in der Messschaltung; und Entfernen des Sensormoduls aus der Kompensationsvorrichtung.

8. Verfahren nach Anspruch 6 oder nach Anspruch 6 und 7, wobei das Nachjustieren des Sensormoduls umfasst:

Montieren des Sensormoduls mittels des Prozessanschlusses an einer Sensormodulkalibrierstation; Beaufschlagen des Sensormoduls mit mindestens zwei Druckwerten  $p_i$ , Erfassen der zugehörigen Sensormesswerte  $pS(p_i)$ ; und

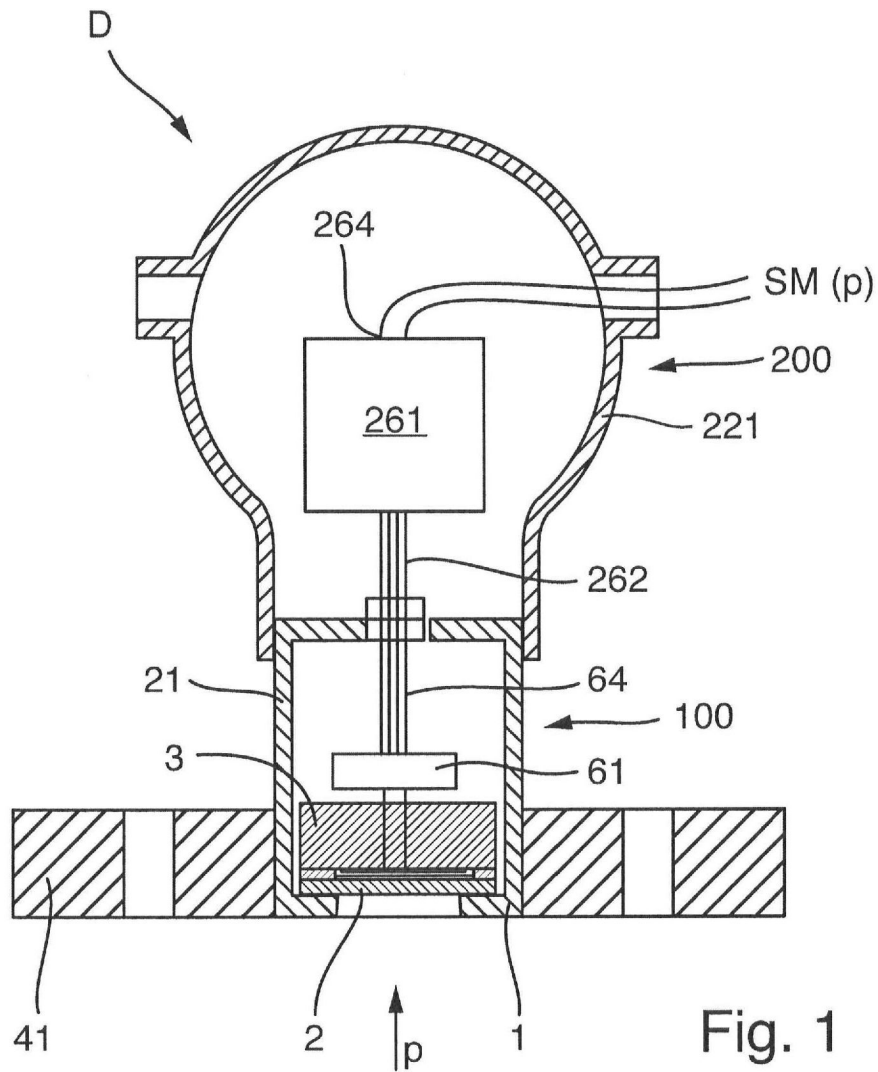
Ermitteln und Implementieren einer nachjustierten Wandlerübertragungsfunktion  $W(S1, S2)$  in der Messschaltung so dass die Sensormesswerte  $pS(p_i)$  für die mindestens zwei Druckmesswerte  $p_i$  bis auf einen Toleranzwert  $dp2$  der vorgegebenen Sensorübertragungsfunktion  $S(p) = a_s * p + S_0$ ; entsprechen.

9. Verfahren nach Anspruch 8, wobei das Kalibrieren des Sensormoduls in der Sensormodulkalibrierstation erfolgt durch erneutes Beaufschlagen des Sensormoduls mit mindestens zwei Druckwerten  $p_i$ ; Erfassen der zugehörigen Sensormesswerte  $pS(p_i)$ ; und Speichern der Kalibrierdaten mit den Wertepaaren  $p_i, pS(p_i)$  in einem Datenspeicher.

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Drucksensormodul über mindestens zwei definierte Messbereiche kompensiert und/oder kalibriert wird, wobei sich ein erster Messbereich von einem zweiten Messbereich hinsichtlich der Spanne unterscheidet, und/oder wobei sich die mittlere Druckdifferenz zwischen den bei der Kalibrierung des Sensormoduls verwendeten Druckwerten im ersten Messbereich von der mittleren Druckdifferenz zwischen den bei der Kalibrierung des Sensormoduls verwendeten Druckwerten im zweiten Messbereich unterscheidet.

Es folgen 2 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen





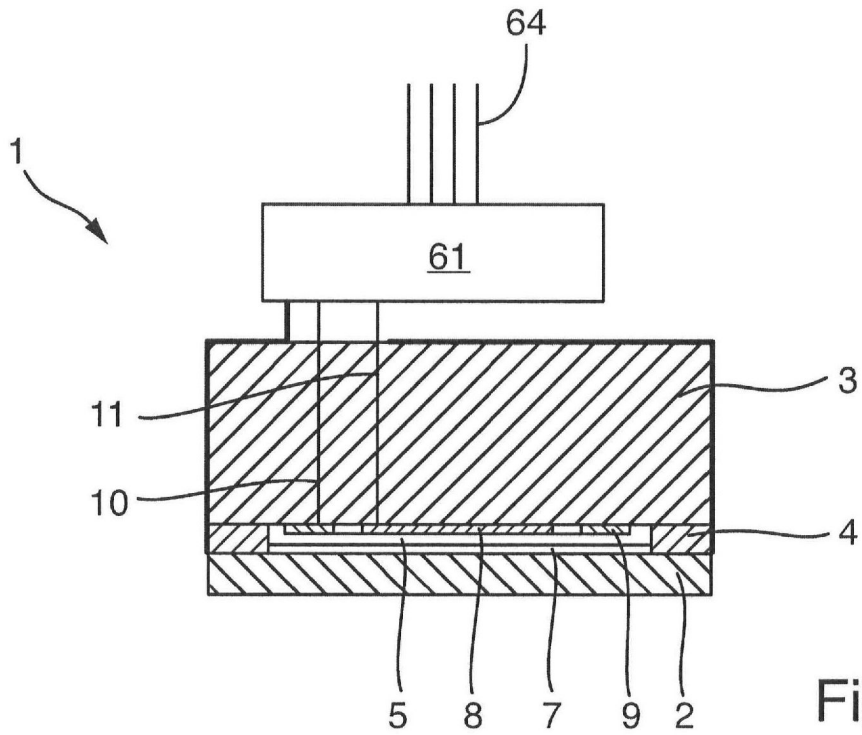


Fig. 2

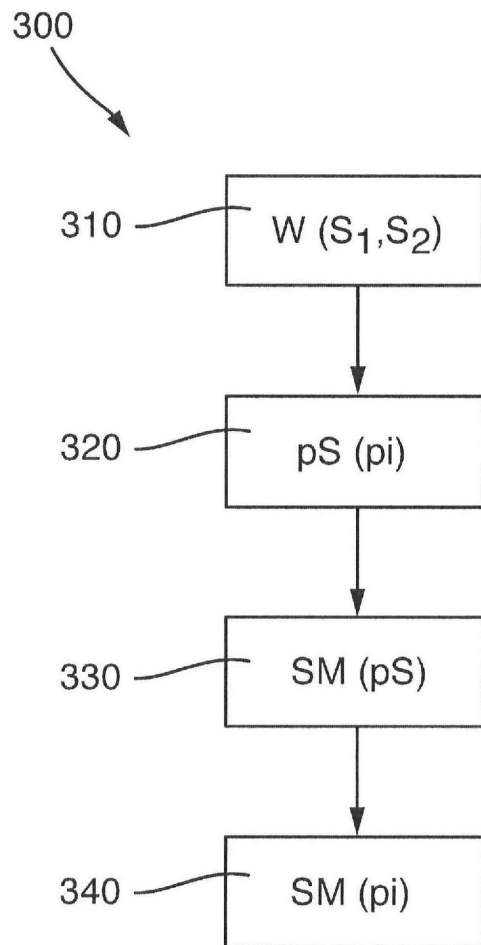


Fig. 3