

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
27. Juni 2019 (27.06.2019)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2019/120776 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
G01L 27/00 (2006.01) *G01D 18/00* (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2018/081288

(22) Internationales Anmeldedatum:
15. November 2018 (15.11.2018)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2017 131 066.5
22. Dezember 2017 (22.12.2017) DE

(71) Anmelder: **ENDRESS+HAUSER SE+CO. KG** [DE/DE];
Hauptstr. 1, 79689 Maulburg (DE).

(72) **Erfinder:** **KARWECK, Lars**; Schleifeweg 4, 79589 Binzen (DE). **SCHLACHTER, Marc Andreas**; Schlösseblick 12 A, 79664 Wehr (DE). **BLANSCHKE, Christian**; Ottwanger Str. 22, 79618 Rheinfelden (DE). **TRUNZER, Wolfgang**; Badstubenweg 17, 79540 Lörrach (DE). **RUHNAU, Andreas**; Hans-Vetter-Strasse 139, 79650 Schopfheim (DE).

(74) **Anwalt:** **ANDRES, Angelika**; Endress+Hauser (Deutschland) AG+Co. KG, Colmarer Str. 6, 79576 Weil am Rhein (DE).

(81) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN,

(54) **Title:** METHOD FOR PROVIDING CALIBRATED PRESSURE TRANSDUCERS

(54) **Bezeichnung:** VERFAHREN ZUM BEREITSTELLEN VON KALIBRIERTEN DRUCKMESSUMFORMERN

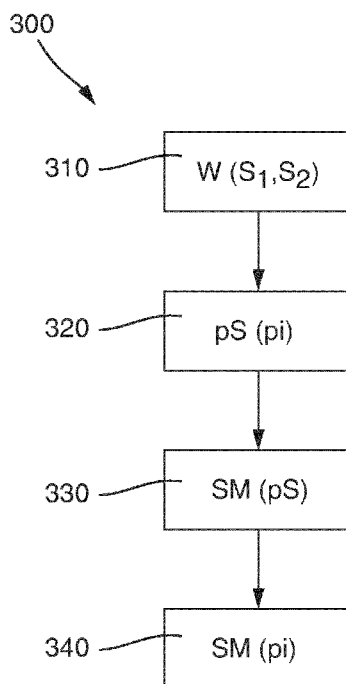


Fig. 3

(57) **Abstract:** According to the invention, first, the sensor module is compensated (310) by implementing the transfer function $W(S_1, S_2)$ in the measuring circuit of the sensor module, which generates sensor measured values pS as a function of primary signals S_1, S_2). In a subsequent sensor calibration (320), sensor measured values $pS(p_i)$ are detected at the sensor module interface as a function of applied pressure values and stored in a calibration database. In a subsequent electronic module calibration (330), measured value signals $SM(pS)$ provided on the signalling interface are detected as a function of sensor measured values pS applied by means of a calibration signal source and are stored in a calibration database, wherein the applied sensor measured values correspond to the $pS(p_i)$ of the sensor calibration. Finally, the calibration log is created (340), in which the measured value signals $SM(pS(p_i))$ determined during the electronic module calibration (330) are assigned to the pressure values p_i applied during the sensor calibration.

(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 , erfasst und in einer Kalibrierdatenbank gespeichert. 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. Schließlich folgt die Kalibrierprotokollerstellung (340) in welchem den bei der

WO 2019/120776 A1

KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD,
ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO,
NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW,
SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM,
TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

- (84) Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

- mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

Verfahren zum Bereitstellen von kalibrierten Druckmessumformern

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Bereitstellen von kalibrierten Druckmessumformern.

Druckmessumformer weisen ein Sensormodul, einen Prozessanschluss und ein
5 mit dem Prozessanschluss gekoppeltes Elektronikmodul aufweist; wobei das Sensor-
modul ein Sensormodulgehäuse, eine Messschaltung, einen Drucksensor mit einem
Verformungskörper, insbesondere in Form einer Messmembran, und einem Mess-
wandler zum Bereitstellen eines ersten analogen Primärsignals, und eines zweiten
10 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 Verformungs-
körpers und einer Temperatur des Drucksensors aufweist, wobei das zweite Primär-
15 signal S2 eine zweite Abhängigkeit von der druckabhängigen Verformung des Verfor-
mungskörpers 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
20 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
25 Bezeichnungen Cerabar, Deltabar, und Deltapilot erhältlich.

Der modulare Aufbau der Druckmessumformer bietet die Gelegenheit, für ver-
schiedene Messaufgaben und Einsatzorte geeignete Kombinationen von Sensormo-
dulen und Elektronikmodulen zu kombinieren, wobei die meisten Druckmessumformer
dazu eingerichtet sind ein analoges Messwertsignal, insbesondere als Stromsignal
30 zwischen 4 und 20 mA auszugeben. Als Nachweis der Messgenauigkeit ist ein
Kalibrierprotokoll erforderlich, welches vom Elektronikmodul ausgegebene Messwert-

signale definierten Druckwerten p_i zuordnet, mit denen das Sensormodul bei der Kalibrierung beaufschlagt wurde.

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.

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.

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 $p_S(S1, S2)$ 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 p_S 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,

5 wobei das Kalibrieren des Sensormoduls 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 $pS(p_i)$
10 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
15 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

20 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.

In einer Weiterbildung der Erfindung wird der Sensormesswert als ein digitales Signal an der Sensormodulschnittstelle ausgegeben.

25 In einer Weiterbildung der Erfindung ist das Messwertsignal ein Stromsignal, insbesondere ein 4 ... 20 mA Stromsignal.

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.

- 5 In einer Weiterbildung der Erfindung umfasst das Verfahren weiterhin das Kompensieren des Sensormoduls, wobei das Kompensieren vor dem Kalibrieren des Sensormoduls erfolgt.

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

- 10 Wobei das Montieren eines Prozessanschlusses und das Nachjustieren zwischen dem Kompensieren und dem Kalibrieren des Sensormoduls erfolgt.

In einer Weiterbildung der Erfindung umfasst das Kompensieren des Sensormoduls:

Einbringen des Sensormoduls in eine Kompensationsvorrichtung;

- 15 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 $S2(p_i, T_j)$;

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

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

- so dass für alle i, j der Sensormesswert $p_S(S1(p_i, T_j), S2(p_i, T_j))$ bis auf einen spezifizierten Toleranzwert dp_1 einer vorgegebenen linearen Sensorübertragungsfunktion $S(p)$ des Drucks p entspricht, mit dem der Drucksensor beaufschlagt wurde, wobei $S(p) = a_s * p + S_0$;
- 25

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

Entfernen des Sensormoduls aus der Kompensationsvorrichtung.

In einer Weiterbildung der Erfindung umfasst das Nachjustieren des Sensormoduls:

5 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

10 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 dp_2 der vorgegebenen Sensorübertragungsfunktion $S(p) = a_s * p + S_0$; entsprechen.

In einer Weiterbildung der Erfindung erfolgt das Kalibrieren des Sensormoduls in der Sensormodulkalibrierstation erfolgt durch

15 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.

In einer Weiterbildung der Erfindung wird das Drucksensormodul über mindestens zwei definierte Messbereiche kompensiert und/oder kalibriert.

20 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.

25 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

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

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

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, keramische 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.

25 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 8 und der Membranelektrode 7 repräsentiert.

30 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 Sensor-
5 modulschnittstelle 64 bereit.

Beim Kompensieren des Drucksensors, wird der Drucksensor mit einen Feld von Druckwerten über eine Für den Drucksensor definierte Messspanne bei zwei oder mehr
10 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 spezifizierte Toleranzwert dem angelegten Druckwert p_i entspricht. Je nach Zahl der Koeffizienten in den
15 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.

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

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.
25 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
30 aus, um dann beispielsweise eine korrigierte Konstante und einen korrigierten Koeffizienten eines linearen Terms in $H1$ zu ermitteln, mit denen die implementierte Übertragungsfunktion nachzujustieren 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.

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.

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.

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.

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 $pS(p_i)$ durchgeführt. 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
5 264 ausgegebenen Messwertesignale $SM(pS(p_i))$, werden erfasst und als Wertepaare $SM(p_i)$, p_i in einem Kalibrierprotokoll aufgezeichnet.

Damit ist der Messgenauigkeit des kompletten Signalpfads dokumentiert, ohne dass der komplette Signalpfad jemals durchgängig getestet werden musste. Dies
10 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.

Der Ablauf einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens soll
15 nochmals kurz anhand von Fig. 3 zusammengefasst werden.

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.

20 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
25 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
30 330) ermittelten Messwertesignale $SM(pS(p_i))$ 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
5 (100) gekoppeltes Elektronikmodul (200) aufweist;

wobei das Sensormodul (100) ein Sensormodulgehäuse (21), eine
Messschaltung (61), einen Drucksensor (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,
10 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,
15 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 $pS(S1, S2)$
20 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 Sensor-
messwerts pS von der Sensormodulschnittstelle (64) und eine Signalisierungs-
25 schnittstelle (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;

5 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
10 $SM(pS)$ 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.

15 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.

20

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 Elektronikgehäuses an dem Sensormodulgehäuse.

25

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:

5 Montieren eines Prozessanschlusses; und

Nachjustieren des Sensormoduls;

Wobei das Montieren eines Prozessanschlusses und das Nachjustieren zwischen dem Kompensieren und dem Kalibrieren des Sensormoduls erfolgt.

10 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 ;

15 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;

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

20 so dass für alle i, j der Sensormesswert $p_S(S1(p_i, T_j), S2(p_i, T_j))$ bis auf einen spezifizierten Toleranzwert dp_1 einer vorgegebenen linearen Sensorübertragungsfunktion $S(p)$ des Drucks p entspricht, mit dem der Drucksensor beaufschlagt wurde, wobei $S(p) = a_s * p + S_0$;

25 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:

5 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

10 Ermitteln und Implementieren einer nachjustierten Wandlerübertragungsfunktion $W(S_1, S_2)$ in der Messschaltung so dass die Sensormesswerte $pS(p_i)$ für die mindestens zwei Druckmesswerte p_i bis auf einen Toleranzwert dp_2 der vorgegebenen Sensorübertragungsfunktion $S(p) = a_s * p + S_0$; entsprechen.

15 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
20 Datenspeicher.

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Drucksensormodul über mindestens zwei definierte Messbereiche kompensiert und/oder kalibriert wird,

25 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.

1/2

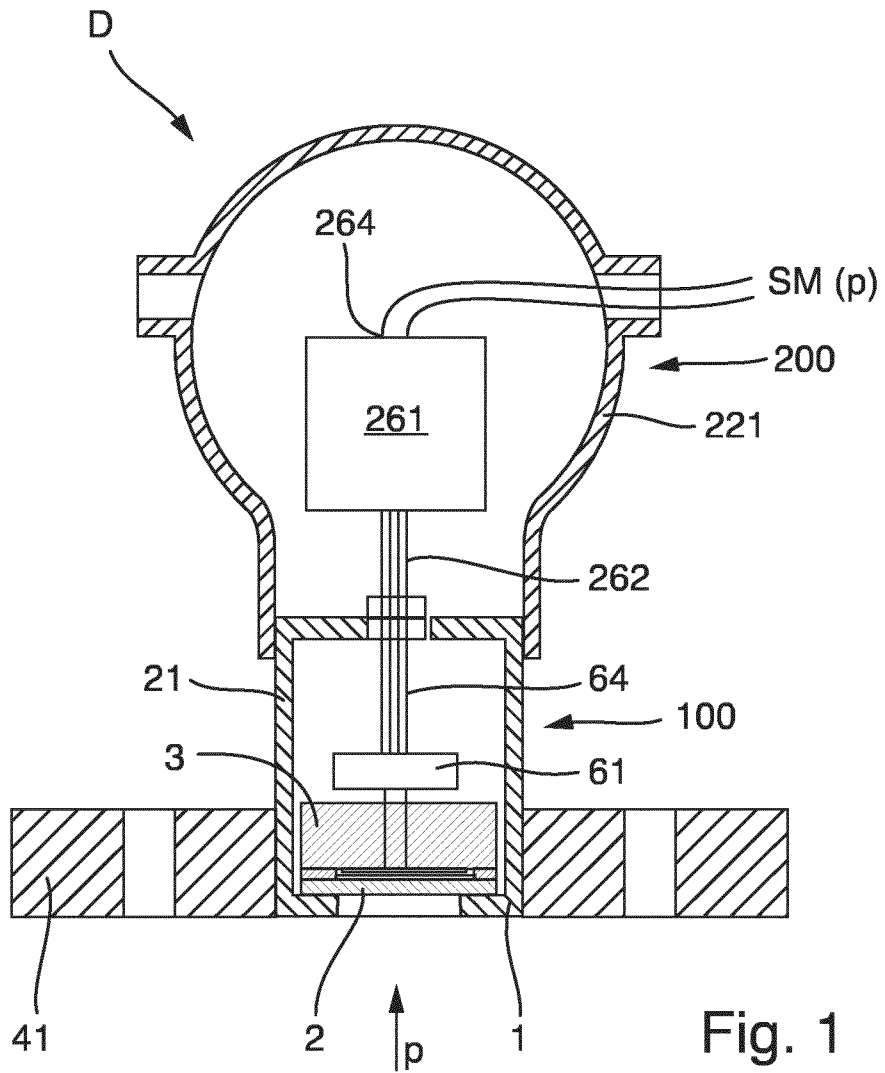
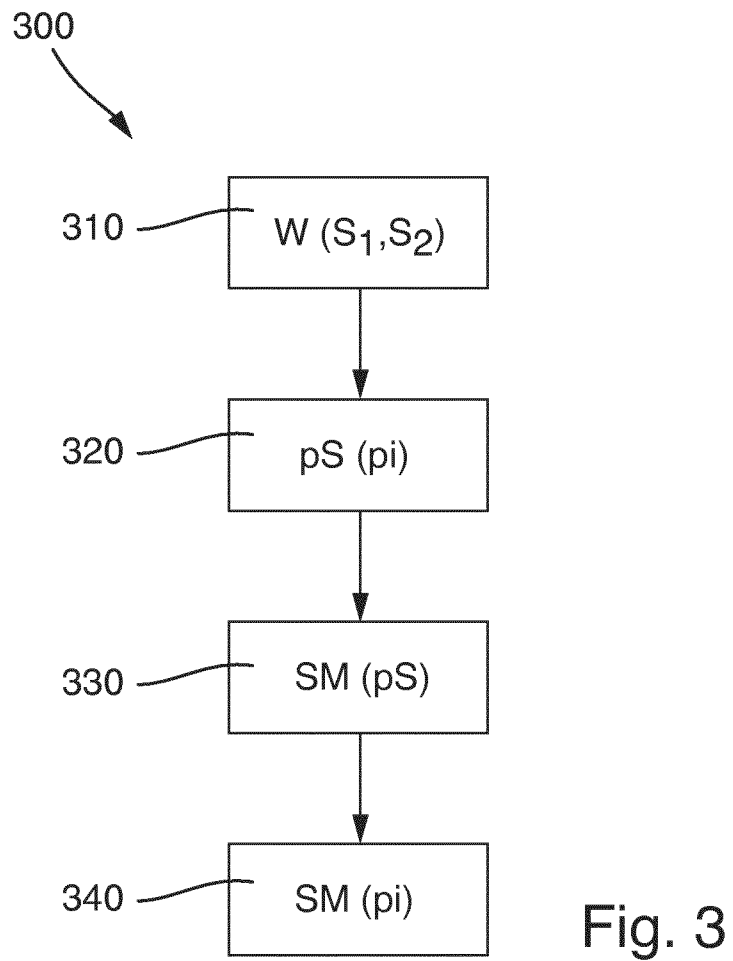
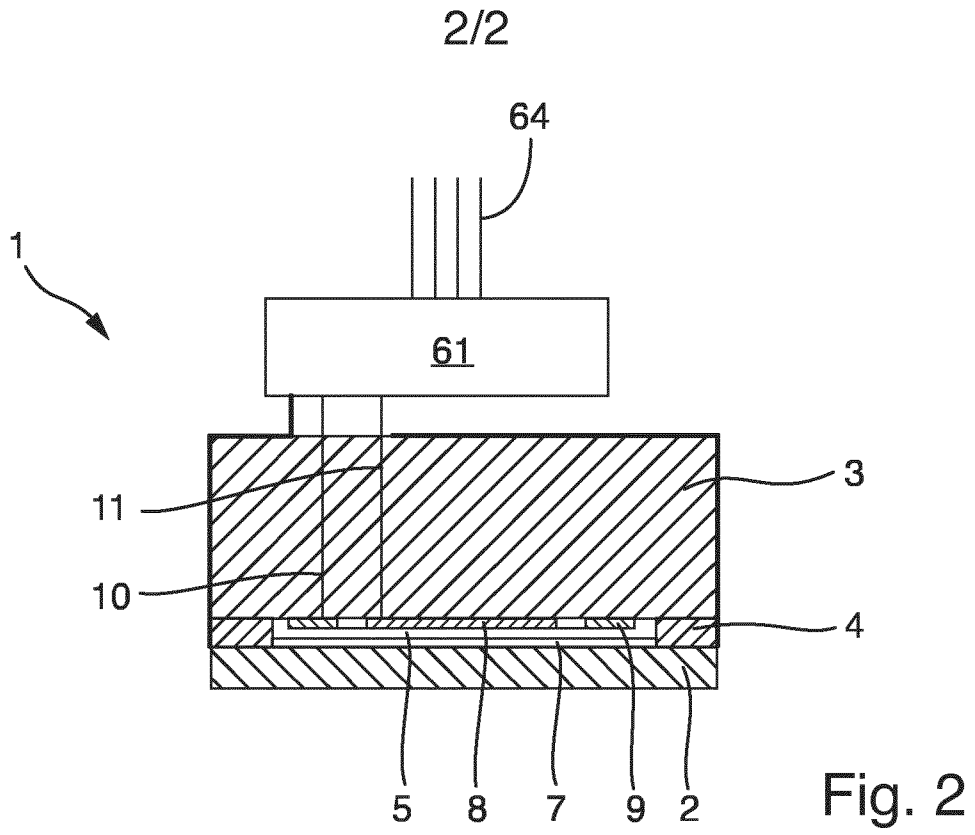


Fig. 1



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2018/081288

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER <i>G01L 27/00</i> (2006.01)i; <i>G01D 18/00</i> (2006.01)i According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) G01L; G01D Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) EPO-Internal, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	US 2017023428 A1 (CHEN CHIUNG-AN [TW] ET AL) 26 January 2017 (2017-01-26) the whole document	1-6 7-10
Y A	US 2008110236 A1 (HAJISHAH ABRAHAM [US] ET AL) 15 May 2008 (2008-05-15) abstract; figures 4,5,8 paragraphs [0004], [0008], [0032] - [0038]	1-6 7-10
A	US 2013317772 A1 (DAWSON CHAD S [US]) 28 November 2013 (2013-11-28) the whole document	1-10
A	SVINOLUPOV YU G ET AL. "Pressure control devices with the microprocessor error correction" <i>MODERN TECHNIQUES AND TECHNOLOGIES, 2003. MTT 2003. PROCEEDINGS OF THE 9TH INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL CONFERENCE OF STUDENTS, PO ST-GRADUATES AND YOUNG SCIENTISTS TOMSK, RUSSIA 7-11 APRIL 2003, PISCATAWAY, NJ, USA, IEEE, US, 07 April 2003 (2003-04-07), pages 64-66</i> DOI: 10.1109/SPCMTT.2003.1438132 ISBN: 978-0-7803-7669-4. XP010806785 the whole document	1-10
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 07 February 2019		Date of mailing of the international search report 18 February 2019
Name and mailing address of the ISA/EP European Patent Office p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk Netherlands Telephone No. (+31-70)340-2040 Facsimile No. (+31-70)340-3016		Authorized officer Stavroulis, Stefanos Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2018/081288

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
US	2017023428	A1	26 January 2017	CN	106370326	A	01 February 2017
				TW	201704725	A	01 February 2017
				US	2017023428	A1	26 January 2017

US	2008110236	A1	15 May 2008	AU	2007319510	A1	22 May 2008
				CA	2669651	A1	22 May 2008
				EP	2080003	A2	22 July 2009
				US	2008110236	A1	15 May 2008
				WO	2008060904	A2	22 May 2008

US	2013317772	A1	28 November 2013	NONE			

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 INV. G01L27/00 G01D18/00
 ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
 G01L G01D

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	US 2017/023428 A1 (CHEN CHIUNG-AN [TW] ET AL) 26. Januar 2017 (2017-01-26)	1-6
A	das ganze Dokument	7-10
Y	US 2008/110236 A1 (HAJISHAH ABRAHAM [US] ET AL) 15. Mai 2008 (2008-05-15)	1-6
A	Zusammenfassung; Abbildungen 4,5,8 Absätze [0004], [0008], [0032] - [0038]	7-10
A	US 2013/317772 A1 (DAWSON CHAD S [US]) 28. November 2013 (2013-11-28) das ganze Dokument	1-10
	----- -/--	



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

7. Februar 2019

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

18/02/2019

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
 NL - 2280 HV Rijswijk
 Tel. (+31-70) 340-2040,
 Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Stavroulis, Stefanos

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	<p>SVINOLUPOV YU G ET AL: "Pressure control devices with the microprocessor error correction", MODERN TECHNIQUES AND TECHNOLOGIES, 2003. MTT 2003. PROCEEDINGS OF THE 9TH INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL CONFERENCE OF STUDENTS, PO ST-GRADUATES AND YOUNG SCIENTISTS TOMSK, RUSSIA 7-11 APRIL 2003, PISCATAWAY, NJ, USA, IEEE, US, 7. April 2003 (2003-04-07), Seiten 64-66, XP010806785, DOI: 10.1109/SPCMTT.2003.1438132 ISBN: 978-0-7803-7669-4 das ganze Dokument -----</p>	1-10

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2018/081288

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2017023428 A1	26-01-2017	CN 106370326 A TW 201704725 A US 2017023428 A1	01-02-2017 01-02-2017 26-01-2017

US 2008110236 A1	15-05-2008	AU 2007319510 A1 CA 2669651 A1 EP 2080003 A2 US 2008110236 A1 WO 2008060904 A2	22-05-2008 22-05-2008 22-07-2009 15-05-2008 22-05-2008

US 2013317772 A1	28-11-2013	KEINE	
