



(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2018 106 563.9**  
(22) Anmeldetag: **20.03.2018**  
(43) Offenlegungstag: **26.09.2019**  
(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: **14.11.2019**

(51) Int Cl.: **G01L 9/12 (2006.01)**  
**G01L 19/04 (2006.01)**

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:  
**VEGA Grieshaber KG, 77709 Wolfach, DE**

(72) Erfinder:  
**Dieterle, Levin, 77709 Oberwolfach, DE; Weller,  
Bernhard, 77709 Wolfach, DE**

(74) Vertreter:  
**Patentanwälte Bauer Vorberg Kayser  
Partnerschaft mbB, 50968 Köln, DE**

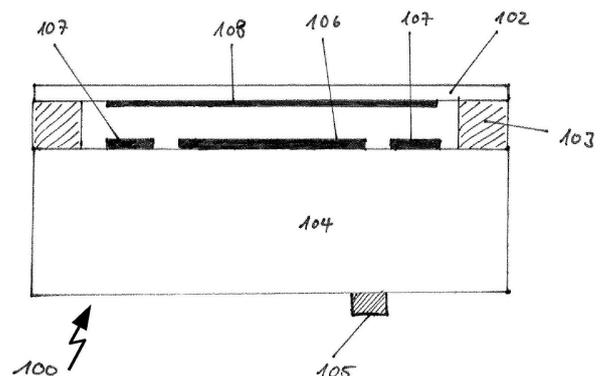
(56) Ermittelter Stand der Technik:

EP	1 186 875	B1
EP	2 189 774	A1
EP	3 124 937	A1

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Messwertkompensation bei kapazitiven Druckmesszellen**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Messwertkompensation bei kapazitiven Druckmesszellen (100) mit einer Messkapazität und mindestens einer Referenzkapazität, mit folgenden Schritten:

- Bestimmung einer druckinduzierten Kapazitätsänderung der Referenzkapazität ( $C_{r,p}$ ) in Abhängigkeit einer druckinduzierten Kapazitätsänderung der Messkapazität ( $C_{m,p}$ ),
- Bestimmung einer thermoschockinduzierten Kapazitätsänderung der Referenzkapazität ( $C_{r,TS}$ ) in Abhängigkeit einer thermoschockinduzierten Kapazitätsänderung der Messkapazität ( $C_{m,TS}$ ),
- Messung der Messkapazität ( $C_{m,meas}$ ) und der mindestens einen Referenzkapazität ( $C_{r,meas}$ ),
- Bestimmung der thermoschockinduzierten Kapazitätsänderung der Messkapazität ( $C_{m,TS}$ ) aus einer Kombination der obigen Abhängigkeiten,
- Kompensation der gemessenen Messkapazität ( $C_{m,meas}$ ) um die thermoschockinduzierte Kapazitätsänderung der Messkapazität ( $C_{m,TS}$ ) und
- Bestimmung und Ausgabe der druckinduzierten Kapazitätsänderung ( $C_{m,p}$ ) oder einer davon abgeleiteten Größe.



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Messwertkompensation bei kapazitiven Druckmesszellen, insbesondere ein Verfahren zur Detektion und zur Kompensation einer schnellen Temperaturänderung an einer Druckmesszelle gemäß Oberbegriff des Patentanspruchs 1.

**[0002]** Eine Druckmesszelle ist beispielsweise aus der EP 1 186 875 B1 bekannt.

**[0003]** Eine solche Druckmesszelle besteht in der Regel aus einem Grundkörper und einer Messmembran, wobei an dem Grundkörper über eine umlaufende Fügung eine durch einen zu messenden Druck verformbare Membran angeordnet ist. An einer zur Membran weisenden Seite des Grundkörpers und auf der zum Grundkörper weisenden Seite der Membran sind vorzugsweise kreisrunde Elektroden vorgesehen, die zusammen einen Messkondensator bilden, dessen Messsignal ausgewertet wird. Um Störeffekte, wie beispielsweise Temperatur oder Drift zu kompensieren, wird den Messkondensator ringförmig umgebend ein Referenzkondensator angeordnet.

**[0004]** Es sei an dieser Stelle angemerkt, dass nachfolgend die beiden gebildeten Kondensatoren als Messkondensator und Referenzkondensator bezeichnet werden. Sowohl der Messkondensator als auch der Referenzkondensator verändert bei einer Durchbiegung bspw. durch Druckbeaufschlagung der Membran aufgrund von Abstandsänderung der Elektroden seine Kapazität. Da diese Änderung bei dem Referenzkondensator aber aufgrund seiner Anordnung an einem Rand der Membran, in der Nähe der Fügung geringer ausfällt als bei dem Messkondensator, und da bekannt ist, in welchem Verhältnis sich Messkondensator und Referenzkondensator druckbedingt verändern, können externe Einflüsse kompensiert werden.

**[0005]** Befindet sich eine solche Druckmesszelle im thermischen Gleichgewicht mit ihrer Umgebung, kann die Temperaturabhängigkeit der Druckmessung mittels eines auf der Rückseite des Grundkörpers angeordneten Temperatursensors kompensiert werden. Eine schnelle Temperaturänderung, beispielsweise ein sogenannter Thermoschock kann zu Verspannungen in der Membran der Druckmesszelle führen, die aufgrund einer dadurch bewirkten Auslenkung der Messmembran falsche Messwerte zur Folge haben. Die Verspannungen der Membran resultieren aus einem Temperaturunterschied zwischen einem auf die Membran der Druckmesszelle einwirkenden Medium und dem von dem Medium abgewandten, mit der Umgebung thermisch verbundenen, die Membran tragenden Grundkörper der Druckmesszelle.

**[0006]** Dieses Problem wird gemäß der oben genannten EP 1 186 875 B1 dadurch gelöst, dass ein zweiter Temperatursensor in Richtung eines erwarteten Temperaturgradienten, nämlich in einer Verbindungsschicht zwischen der Membran und dem diese Membran tragenden Grundkörper angeordnet wird. Damit können Temperaturänderungen mit steilem Temperaturgradienten schnell erfasst werden, so dass Temperaturschocks von einer tatsächlichen Druckänderung unterscheidbar sind und kompensiert werden können.

**[0007]** Ein Nachteil dieser bekannten Lösung besteht darin, dass eine Temperaturänderung aufgrund einer Dicke der Membran auch von dem zusätzlichen Temperatursensor erst mit einer zeitlichen Verzögerung erfasst werden kann. Da jedoch thermoschockbedingte Messsignaländerungen sehr schnell erfolgen, ist die Fehlerkompensation mittels der beiden Temperatursensoren, insbesondere bei kleinen Messbereichen sehr ungenügend, da die dort verwendete dünne Membran die Temperaturänderung annähernd sofort annimmt.

Des Weiteren ist die Herstellung einer solchen Druckmesszelle gemäß der EP 1 186 875 B1 sehr aufwändig und damit auch teuer, da die Einbringung eines Temperatursensors im Fügebereich zwischen der Membran und dem Grundkörper der Druckmesszelle sowie dessen Kontaktierung und Signalauswertung mit zusätzlichem Aufwand verbunden ist. Ferner muss ausreichend Platz vorhanden sein, um an geeigneter Stelle einen zusätzlichen Temperatursensor anzubringen. Bei der zunehmenden Miniaturisierung der zugrundeliegenden Druckmesszellen, ist dies nicht mehr ohne Weiteres gegeben.

**[0008]** In der EP 3 124 937 A1 wird ein Verfahren als Weiterentwicklung offenbart, bei dem abhängig von einer zeitlichen Änderung der Temperaturdifferenz ein Messsignal der Druckmesszelle unmittelbar oder abhängig von der Größe der Temperaturdifferenz korrigiert und/oder geglättet ausgegeben wird. Ziel dieses Verfahrens ist es, komplexe Kompensationsalgorithmen zu Beginn eines Thermoschocks zu vermeiden, da dann eine sehr hohe Dynamik in der Messwertänderung zu erwarten ist. Es wird daher vorgeschlagen, bei Detektion einer großen Änderung der Temperaturdifferenz zwischen den beiden Temperatursensoren einen vor Beginn dieser Änderung ausgegebenen Messwert einzufrieren, d.h. im Sinne eines Sample-and-Hold-Gliedes für die Phase hoher Dynamik weiterhin den zuvor erfassten Messwert auszugeben.

**[0009]** Zur Realisierung des in der EP 3 124 937 A1 vorgeschlagenen Verfahrens wird ebenfalls eine Druckmesszelle mit zwei Temperatursensoren benötigt und es bestehen die gleichen Nachteile, wie sie in Bezug auf die EP 1 186 875 B1 beschrieben wurden.

**[0010]** Weiterer Stand der Technik ist aus der EP 2 189 774 A1 bekannt.

**[0011]** Es ist die Aufgabe der vorliegenden Erfindung eine Druckmesszelle und ein Verfahren zum Betreiben einer solchen Druckmesszelle derart weiterzubilden, dass diese die Nachteile des Stands der Technik überwinden.

**[0012]** Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1 gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen sind Gegenstand abhängiger Patentansprüche.

**[0013]** Bei einem erfindungsgemäßen Verfahren zur Messwertkompensation bei kapazitiven Druckmesszellen mit einer Messkapazität und wenigstens einer Referenzkapazität, wird zunächst eine druckinduzierte Kapazitätsänderung der wenigstens einen Referenzkapazität in Abhängigkeit einer druckinduzierten Kapazitätsänderung der Messkapazität bestimmt. Außerdem wird eine thermoschockinduzierte Kapazitätsänderung der wenigstens einen Referenzkapazität in Abhängigkeit einer thermoschockinduzierten Kapazitätsänderung der Messkapazität bestimmt. Es wird die Messkapazität und die wenigstens eine Referenzkapazität gemessen und die thermoschockinduzierte Kapazitätsänderung der Messkapazität aus einer Kombination der gemessenen Abhängigkeiten bestimmt. Es wird die Messkapazität um die thermoschockinduzierte Kapazitätsänderung der Messkapazität kompensiert und die druckinduzierte Kapazitätsänderung oder einer davon abgeleiteten Größe bestimmt und ausgegeben.

**[0014]** Vorzugsweise weist die Druckmesszelle eine einzige Referenzkapazität auf, die vorzugsweise ringförmig die Messkapazität umgebend angeordnet ist.

**[0015]** Es ist bekannt, dass sich bei kapazitiven Druckmesszellen der zugrunde liegenden Art die Referenzkapazität und die Messkapazität unter Druckeinwirkung in einer bestimmten Abhängigkeit voneinander verändern. Messungen haben gezeigt, dass diese Abhängigkeit der druckinduzierten Kapazitätsänderung der Referenzkapazität in Abhängigkeit der druckinduzierten Kapazitätsänderung der Messkapazität in hinreichender Genauigkeit mit einer quadratischen Funktion beschrieben werden kann.

Die Bestimmung einer druckinduzierten Kapazitätsänderung der Referenzkapazität in Abhängigkeit der druckinduzierten Kapazitätsänderung der Messkapazität kann dabei beispielsweise durch eine Messung dieser Abhängigkeit an einer vorgegebenen Anzahl, von wenigstens 3 Messpunkten während der Kalibrierung der Druckmesszelle nach deren Fertigung erfolgen und die Abhängigkeit anhand dieser Messpunkte für den Messbereich der Druckmesszelle interpoliert werden. Bspw. kann eine Polynominterpolation

mit den drei Messpunkten als Stützstellen für ein Polynom zweiten Grades erfolgen.

**[0016]** Die Bestimmung der thermoschockinduzierten Kapazitätsänderung der Referenzkapazität in Abhängigkeit der thermoschockinduzierten Kapazitätsänderung der Messkapazität erfolgt ebenfalls vorab. Die Druckmesszelle kann dabei bspw. verschiedenen Thermoschocks ausgesetzt werden, aus denen ebenfalls die Änderung der Referenzkapazität in Abhängigkeit der Messkapazität ermittelt wird. Aus einer Mehrzahl von Messpunkten kann auch hier eine Interpolation, bspw. wieder eine Polynominterpolation erfolgen und damit die Abhängigkeit als Polynom bestimmt werden.

**[0017]** Um eine zuverlässig Bestimmung dieser Abhängigkeit zu erreichen ist es vorteilhaft, wenn die Druckmesszelle bei gleichbleibenden Druckverhältnissen wenigstens einem positiven Thermoschock, d.h. einem schnellen Temperaturanstieg, und einem negativen Thermoschock, d.h. einem schnellen Temperaturabfall ausgesetzt wird. Dies kann bspw. durch übergießen der Druckmesszelle mit einer heißen Flüssigkeit definierter Temperatur, bspw. mit kochendem Wasser, sowie durch übergießen mit einer kalten Flüssigkeit definierter Temperatur, bspw. einem Kältemittel mit  $-40^{\circ}\text{C}$ , jeweils ausgehend von einer auf  $20^{\circ}\text{C}$  temperierten Messzelle erfolgen.

**[0018]** Versuche haben gezeigt, dass sich die thermoschockinduzierte Kapazitätsänderung der Referenzkapazität in Abhängigkeit der thermoschockinduzierten Kapazitätsänderung der Messkapazität abhängig vom Messbereich der Druckmesszelle in hinreichender Genauigkeit mit einer linearen Funktion oder einer kubischen Funktion beschreiben lässt. Abhängig von der Bauart der Messzelle kann es auch notwendig sein, diese Abhängigkeit für positive Thermoschocks und für negative Thermoschocks mit jeweils einer eigenen Funktion zu beschreiben.

**[0019]** Insgesamt hat sich gezeigt, dass für Druckmesszellen mit großem Messbereich, d.h. einer dicken Messmembran lineare Funktionen zur Beschreibung der Abhängigkeit ausreichen und dass es für Druckmesszellen mit einem kleinen Messbereich, d.h. einer dünnen Messmembran notwendig ist, eine kubische Funktion für die Beschreibung der Abhängigkeit zu wählen.

**[0020]** Unter einer Druckmesszelle mit einem großen Messbereich soll in der vorliegenden Anmeldung eine Druckmesszelle zur Messung von Drücken von bis zu mehreren zehn Bar, insbesondere etwa 60 bar verstanden werden. Bei der hier zugrundeliegenden Bauform der Druckmesszellen weisen diese eine Membran mit einer Dicke von etwa einem Millimeter auf. Die Messzellen der Anmelderin haben einen Durchmesser von 18 mm und 28 mm. Insbesondere

bei der kleineren Messzelle ist es schwierig, einen zusätzlichen Temperatursensor aufgrund des zusätzlichen Platzbedarfes auf der Membran zu integrieren.

**[0021]** Unter einer Druckmesszelle mit einem kleinen Messbereich soll in der vorliegenden Anmeldung eine Druckmesszelle zur Messung von Drücken bis zu maximal einigen Zehntel Bar, insbesondere bis etwa 0,1 bar verstanden werden. Bei der hier zugrundeliegenden Bauform der Druckmesszellen weisen diese eine Membran mit einer Dicke von etwa einem Zehntel Millimeter auf.

**[0022]** Im Betrieb der Druckmesszelle werden dann die die Messkapazität und die Referenzkapazität gemessen. Auf Basis der zuvor bestimmten Abhängigkeiten kann die thermoschockinduzierte Kapazitätsänderung der Messkapazität bestimmt werden, so dass die Messkapazität um die thermoschockinduzierte Kapazitätsänderung der Messkapazität kompensiert und die druckinduzierte Kapazitätsänderung oder einer davon abgeleiteten Größe bestimmt und ausgegeben werden kann.

**[0023]** Durch das vorliegende Verfahren ist es damit möglich Thermoschocks nicht nur zu erkennen, wie dies im Stand der Technik erfolgt, sondern diese auch zu kompensieren.

**[0024]** In einer Weiterbildung des vorliegenden Verfahrens wird - wieder vorzugsweise bei der Kalibrierung der Druckmesszelle - eine statische temperaturinduzierte Kapazitätsänderung der Messkapazität in Abhängigkeit von einer Referenztemperatur und der Systemtemperatur und eine statische temperaturinduzierte Kapazitätsänderung der Referenzkapazität in Abhängigkeit von einer Referenztemperatur und der Systemtemperatur bestimmt. Wird dann im Betrieb der Druckmesszelle eine Systemtemperatur der Druckmesszelle gemessen, kann eine temperaturinduzierte Änderung der Messkapazität bestimmt und die Messkapazität um die thermoschockinduzierte Kapazitätsänderung der Messkapazität und die temperaturinduzierte Änderung der Messkapazität kompensiert werden. Es kann damit die druckinduzierten Kapazitätsänderung der Messkapazität oder eine davon abgeleitete Größe mit noch größerer Genauigkeit bestimmt werden.

**[0025]** Durch die Bestimmung der statischen temperaturinduzierten Kapazitätsänderung der Referenzkapazität und der Messkapazität in Abhängigkeit von einer Referenztemperatur und der Systemtemperatur kann ferner die thermoschockinduzierte Kapazitätsänderung der Messkapazität noch genauer bestimmt werden, sodass insgesamt eine Messung mit höherer Genauigkeit möglich ist.

**[0026]** Unter der Systemtemperatur soll in der vorliegenden Anmeldung die Temperatur der Mess-

zelle verstanden werden, wenn diese im thermischen Gleichgewicht ist, d.h. die Messzelle vollständig durchgewärmt ist, also innerhalb der Druckmesszelle kein Temperaturgradient mehr besteht. Praktisch wird die Systemtemperatur mittels eines Sensors an einer von der Membran abgewandten Seite des Grundkörpers der Druckmesszelle gemessen. Es wird davon ausgegangen, dass Temperatureinflüsse durch das zu messende Medium erfolgen und die Druckmesszelle die an dieser Stelle gemessenen Temperatur insgesamt aufweist.

**[0027]** Zur Ermittlung der Systemtemperatur weist die Druckmesszelle lediglich einen einzigen Temperatursensor auf, der an der von der Membran abgewandten Seite des Grundkörpers der Druckmesszelle oder auf einer dort befindlichen Elektronikplatine angeordnet ist.

**[0028]** Als Referenztemperatur wird eine vorgegebene Temperatur, bei der die Druckmesszelle im Wesentlichen ohne thermisch induzierte Spannungen ist, angenommen. Es kann bspw. eine Temperatur von 20°C als Referenztemperatur angenommen werden. Die thermisch induzierte Kapazitätsänderung der Messkapazität und der Referenzkapazität werden dann in Relation zu der Kapazität bei der Referenztemperatur angegeben.

**[0029]** Messungen haben gezeigt, dass die Abhängigkeit der Messkapazität von der Systemtemperatur mit hinreichender Genauigkeit durch eine quadratische Funktion dargestellt werden kann. Wird die von der Systemtemperatur abhängige Kapazitätsänderung der Messkapazität also für wenigstens drei Messpunkte bestimmt, so kann die zugrundeliegende Funktion durch eine Polynominterpolation mit diesen drei Messpunkten als Stützstellen ermittelt werden.

**[0030]** Die Bestimmung der druckinduzierten Kapazitätsänderung der Referenzkapazität in Abhängigkeit der druckinduzierten Kapazitätsänderung der Messkapazität kann vorzugsweise die Messung dieser Abhängigkeit vorzugsweise für jede Messzelle für eine Mehrzahl von wenigstens drei Messpunkten und eine erste Interpolation auf Basis dieser Messpunkte umfassen. Diese Messung kann werksseitig bei der Kalibrierung der Druckmesszelle erfolgen.

**[0031]** Die erste Interpolation der druckinduzierten Kapazitätsänderung der Referenzkapazität in Abhängigkeit einer druckinduzierten Kapazitätsänderung der Messkapazität kann vorteilhafterweise mit einem ersten Polynom, wenigstens zweiten Grades erfolgen. Ein Polynom zweiten Grades ist, wie bereits erläutert in der Regel ausreichend um die vorliegenden Zusammenhänge hinreichend genau zu beschreiben. Wird festgestellt, dass eine höhere Genauigkeit benötigt wird, so kann auch ein Polynom höherer Ordnung verwendet werden.

**[0032]** Die Bestimmung der statischen temperaturinduzierten Kapazitätsänderung der Messkapazität in Abhängigkeit von einer Referenztemperatur und der Systemtemperatur umfasst vorzugsweise die Messung der Messkapazität in Abhängigkeit von der Systemtemperatur vorzugsweise für jede Messzelle an wenigstens drei Messpunkten und eine zweite Interpolation auf Basis dieser Messpunkte.

**[0033]** Die zweite Interpolation erfolgt dabei vorzugsweise mit einem zweiten Polynom wenigstens zweiten Grades, was in der Regel ausreichend ist. Wird eine höhere Genauigkeit erforderlich, so kann auch ein Polynom höherer Ordnung verwendet werden, wobei dann für die Polynominterpolation eine entsprechend größere Anzahl an Stützstellen notwendig ist.

**[0034]** Die Bestimmung der statischen temperaturinduzierten Kapazitätsänderung der Referenzkapazität in Abhängigkeit von einer Referenztemperatur und der Systemtemperatur umfasst vorzugsweise die Messung der Messkapazität in Abhängigkeit der Systemtemperatur vorzugsweise für jede Messzelle für wenigstens drei Messpunkte und eine dritte Interpolation auf Basis dieser Messpunkte.

**[0035]** Die dritte Interpolation erfolgt dabei zur Erzielung einer hinreichenden Genauigkeit mit einem dritten Polynom wenigstens zweiten Grades. Wird eine höhere Genauigkeit erforderlich, so kann auch ein Polynom höherer Ordnung verwendet werden, wobei für die Polynominterpolation dann eine entsprechend höhere Anzahl an Stützstellen notwendig ist.

**[0036]** Die Bestimmung der statischen temperaturinduzierten Kapazitätsänderung der Messkapazität und der Referenzkapazität kann dabei gemeinsam in einer Messung erfolgen.

**[0037]** Die Bestimmung der thermoschockinduzierten Kapazitätsänderung der Referenzkapazität in Abhängigkeit der thermoschockinduzierten Kapazitätsänderung der Messkapazität kann bspw. die Messung dieser Abhängigkeit für eine Mehrzahl von Druckmesszellen, einer Produktionscharge für jeweils wenigstens einen positiven und einen negativen Thermoschock und eine vierte Interpolation auf Basis von daraus erhaltenen Messpunkten umfassen.

**[0038]** Dadurch, dass die Druckmesszellen der vorliegenden Anmeldung alle 2 bis 10 ms eine Kapazitätsmessung durchführen, können aus je einem positiven und einem negativen Thermoschock eine Vielzahl von Messwerten für eine Vielzahl von jeweils einwirkenden Temperaturen ermittelt werden, sodass die vorstehende Messung in der Regel ausreichend ist, um eine zuverlässige Aussage über die zugrundeliegende Abhängigkeit treffen zu können.

**[0039]** Es kann damit erreicht werden, dass eine Erkennung und Kompensation eines Thermoschocks ohne eine diesbezügliche Temperaturmessung erfolgen kann. Die zugrundeliegenden Messzellen benötigen damit nur einen einzigen Temperatursensor zur Ermittlung der Systemtemperatur, die zur Bestimmung der statischen temperaturbedingten Kapazitätsänderung genutzt wird.

**[0040]** Die vierte Interpolation kann mit wenigstens einem vierten Polynom wenigstens ersten Grades erfolgen. Abhängig von der Bauart und Dimensionierung der zugrundeliegenden Messzelle kann es auch ausreichend sein, wenn lediglich ein positiver Thermoschock gemessen wird. Dies kann einfach durch entsprechende Versuche ermittelt werden und wird vom Fachmann entsprechend adaptiert.

**[0041]** Die Dimensionierung der Messzelle, die maßgeblich deren Messbereich bestimmt hat auch Auswirkungen darauf, ob ein Polynom ersten Grades, also eine Gerade, oder ein Polynom dritten Grades für die Darstellung der vorliegenden Abhängigkeit herangezogen wird. Insbesondere für dicke Membranen mit einer Dicke von mehr als 0,25 mm wird vorteilhafterweise eine Interpolation mit einem Polynom ersten Grades und für dünne Membranen mit einer Dicke von 0,2 mm oder weniger eine Interpolation mit einem Polynom dritten Grades durchgeführt.

**[0042]** Unter Umständen kann es auch sinnvoll sein, für positive und für negative Thermoschocks jeweils eine eigene Funktion zur Darstellung der Abhängigkeit zu verwenden, die dann jeweils von einem Schnittpunkt der Funktionen ausgehend Gültigkeit haben.

**[0043]** Die vorliegende Erfindung wird nachfolgend anhand eines Ausführungsbeispiels unter Bezugnahme auf die beigefügten Figuren eingehend erläutert.

**[0044]** Es zeigen:

**Fig. 1** eine Druckmesszelle, bei der das Verfahren der vorliegenden Anmeldung zum Einsatz kommen kann,

**Fig. 2** die Abhängigkeit der druckinduzierten Kapazitätsänderung der Referenzkapazität von der druckinduzierten Änderung der Messkapazität,

**Fig. 3** die Abhängigkeit der Referenzkapazität und der Messkapazität von der Systemtemperatur,

**Fig. 4** die Abhängigkeit der thermoschockinduzierten Kapazitätsänderung der Referenzkapazität von der thermoschockinduzierten Änderung der Messkapazität und

**Fig. 5** einen Vergleich der Ausgabewerte einer Messzelle gemäß **Fig. 1** ohne und mit Anwendung des Verfahrens der vorliegenden Anmeldung.

**[0045]** **Fig. 1** zeigt beispielhaft eine Druckmesszelle **100**, bei der das Verfahren der vorliegenden Anmeldung zum Einsatz kommen kann.

**[0046]** Die Druckmesszelle ist vorliegend als keramische Druckmesszelle **100** ausgebildet, wobei vorderseitig an der Druckmesszelle **100** eine Membran **102**, die durch den Druck eines auf die Membran **102** einwirkenden Mediums (Fluid oder Gas) verformbar ist, angeordnet ist. Die Membran **102** ist über eine umlaufende Fügung **103**, die vorliegend als Glasfügung ausgebildet ist an einem Grundkörper **104** der Druckmesszelle **100**, der ebenfalls aus einem keramischen Material besteht, befestigt.

**[0047]** An der Membran **102** ist eine Membranelektrode **108** und dieser gegenüberliegend an dem Grundkörper **104** eine Messelektrode **106** sowie eine die Messelektrode **106** umlaufend umgebende Referenzelektrode **107** angeordnet. Im vorliegenden Ausführungsbeispiel sind die Membranelektrode **108** und die Messelektrode **106** kreisförmig und die Referenzelektrode **107** ringförmig ausgebildet. Durch eine Druckänderung des auf die Membran **102** wirkenden Mediums ändert sich ein Abstand zwischen der Membranelektrode **108** und der Messelektrode **106**, so dass sich der Wert einer dort gemessenen Messkapazität  $C_{m,meas}$  verändert. Die zwischen der Membranelektrode **108** und der Referenzelektrode **107** gebildete Referenzkapazität  $C_{r,meas}$  ändert sich ebenfalls, jedoch in einem für jede Druckmesszelle **100** bestimmbaren Verhältnis zu  $C_{m,meas}$  und kann damit zur Kompensation negativer Einflüsse auf die Messkapazität  $C_{m,meas}$  zwischen der Membranelektrode **108** und der Messelektrode **106** benutzt werden.

**[0048]** Die Druckmesszelle **100** weist ferner einen Temperatursensor **105** auf, der sich rückseitig an dem Grundkörper **104** befindet oder auf einer sich dort befindlichen Elektronikplatine angebracht ist. Mittels des Temperatursensors **105** kann eine Systemtemperatur  $T$ , der Druckmesszelle **100** bestimmt werden. Da Temperatureinwirkungen hauptsächlich von der Mediumsseite her zu erwarten sind, kann davon ausgegangen werden, dass die Druckmesszelle **100** insgesamt die auf der Rückseite des Grundkörpers gemessene Systemtemperatur  $T$  aufweist.

**[0049]** Der gemessene Kapazitätswert  $C_{m,meas}$  der Messkapazität und der gemessene Kapazitätswert  $C_{r,meas}$  der Referenzkapazität einer solchen keramischen, kapazitiven Druckmesszelle **100** setzen sich im einfachsten Fall aus drei Teilkapazitäten zusammen, wobei ein erster Anteil durch den einwirkenden Druck  $p$  (druckinduziert), ein zweiter Anteil durch

die vorherrschende Systemtemperatur  $T$  (temperaturinduziert) und ein dritter Anteil durch einen Thermoschock  $TS$  (thermoschockinduziert) hervorgerufen wird. Nachfolgend werden folgende Bezeichnungen verwendet:

$C_{m,meas}$	gemessener Kapazitätswert der Messkapazität
$C_{m,p}$	druckinduzierter Anteil der Messkapazität
$C_{m,T}$	temperaturinduzierter Anteil der Messkapazität
$C_{m,TS}$	thermoschockinduzierter Anteil der Messkapazität
$C_{r,meas}$	gemessener Kapazitätswert der Referenzkapazität
$C_{r,p}$	druckinduzierter Anteil der Referenzkapazität
$C_{r,T}$	temperaturinduzierter Anteil der Referenzkapazität
$C_{r,TS}$	thermoschockinduzierter Anteil der Referenzkapazität

**[0050]** Der oben beschriebene Zusammenhang lässt sich damit wie folgt darstellen:

$$C_{m,meas} = C_{m,p} + C_{m,TS} + C_{m,T}$$

$$C_{r,meas} = C_{r,p} + C_{r,TS} + C_{r,T}$$

**[0051]** Die für die Druckmessung mittels des Sensors benötigten druckinduzierten Werte, d.h. die Anteile der gemessenen Kapazitäten  $C_{m,meas}$ ,  $C_{r,meas}$ , der rein druckabhängig sind, können damit wie folgt berechnet werden:

$$C_{m,p} = C_{m,meas} - C_{m,TS} - C_{m,T}$$

$$C_{r,p} = C_{r,meas} - C_{r,TS} - C_{r,T}$$

**[0052]** Durch die Bestimmung von verschiedenen Abhängigkeiten zwischen den einzelnen Anteilen der gemessenen Kapazitäten  $C_{m,meas}$ ,  $C_{r,meas}$  und die geschickte Kombination dieser Abhängigkeiten ist es möglich, den druckinduzierten Anteil  $C_{m,p}$  der Messkapazität zu bestimmen und auszugeben.

**[0053]** Nachfolgend werden die durch Messungen bestimmten Abhängigkeiten zwischen den einzelnen Anteile der gemessenen Kapazitäten  $C_{m,meas}$ ,  $C_{r,meas}$  dargestellt.

**[0054]** Messungen haben ergeben, dass sich die druckinduzierten Anteile  $C_{m,p}$ ,  $C_{r,p}$  in einer bestimmten Abhängigkeit  $C_{r,p}(C_{m,p})$  zueinander ändern. Diese Abhängigkeit ist in **Fig. 2** dargestellt. Die Kennlinie **200** zeigt dabei die Abhängigkeit des druckinduzierten Anteils  $C_{r,p}$  der Referenzkapazität vom druckinduzierten Anteil  $C_{m,p}$  der Messkapazität.

**[0055]** Es hat sich gezeigt, dass  $C_{r,p}(C_{m,p})$  einen quadratischen Zusammenhang beschreibt. Um diesen Zusammenhang für eine Druckmesszelle **100** zu ermitteln ist es ausreichend, den Zusammenhang bei der Kalibrierung der Druckmesszelle **100** für wenigstens drei unterschiedliche Drücke  $p$  zu ermitteln. Auf Basis dieser drei Messpunkte kann eine erste Interpolation erfolgen. Auf Basis von drei unterschiedlichen Messwerten ist eine Polynominterpolation für ein Polynom zweiten Grades, das den o.g. quadratischen Zusammenhang beschreibt, möglich. Das so erhältliche Polynom lässt sich wie folgt darstellen:

$$C_{r,p} = \sum_{i=0}^2 a_i C_{m,p}^i$$

**[0056]** Die Polynomkoeffizienten  $a_i$  aus der o.g. Gleichung werden durch die Messungen und die anschließende Interpolation ermittelt und sind daher bekannt.

**[0057]** Es hat sich ferner gezeigt, dass auch die temperaturinduzierten Anteile  $C_{m,T}$ ,  $C_{r,T}$  der gemessenen Kapazitäten  $C_{m,meas}$ ,  $C_{r,meas}$  einer bestimmten Abhängigkeit folgen, die in **Fig. 3** dargestellt ist. Kennlinie **301** zeigt die Abhängigkeit des temperaturinduzierten Anteils der Referenzkapazität  $C_{r,T}$  von der auf eine Referenztemperatur  $T_{ref}$  bezogenen Systemtemperatur  $T$ . Kennlinie **302** zeigt die Abhängigkeit des temperaturinduzierten Anteils der Messkapazität  $C_{m,T}$  von der auf die Referenztemperatur  $T_{ref}$  bezogenen Systemtemperatur  $T$ . Dargestellt ist die relative Änderung der jeweiligen Kapazität  $C_{m,T}$ ,  $C_{r,T}$  bezogen auf die Kapazität bei der Referenztemperatur  $T_{ref}$ .

**[0058]** Aus **Fig. 3** ist ersichtlich, dass sowohl die Änderung des temperaturinduzierten Anteils der Messkapazität  $C_{m,T}$  (Kennlinie **302**) als auch des temperaturinduzierten Anteils der Referenzkapazität  $C_{r,T}$  (Kennlinie **301**) in einer quadratischen Anhängigkeit zur jeweiligen Kapazität bei der Referenztemperatur  $T_{ref}$  stehen. In **Fig. 3** ist beispielhaft die Abhängigkeit des temperaturinduzierten Anteils der Messkapazität  $C_{m,T}$  und des temperaturinduzierten Anteils der Referenzkapazität  $C_{r,T}$  für das thermische Gleichgewicht, also wenn die Druckmesszelle die gemessene Systemtemperatur  $T$  ohne einen Temperaturgradienten innerhalb der Druckmesszelle **100** aufweist, bezogen auf die jeweilige Kapazität bei einer Referenztemperatur von 20°C dargestellt.

**[0059]** Die entsprechenden Werte sind hierbei zellspezifisch und müssen für jede Messzelle bestimmt werden. Durch eine Bestimmung der temperaturinduzierten Anteile  $C_{m,T}$ ,  $C_{r,T}$  für wenigstens drei Punkte kann auch dieser quadratische Zusammenhang mittels einer Polynominterpolation ermittelt werden. Die temperaturinduzierten Anteile  $C_{m,T}$ ,  $C_{r,T}$  lassen sich damit wie folgt darstellen:

$$C_{m,T} = \sum_{k=0}^2 \xi_k (T - T_{ref})^k \quad C_{r,T} = \sum_{k=0}^2 \eta_k (T - T_{ref})^k$$

**[0060]** Als Referenztemperatur  $T_{ref}$  ist in der vorliegenden Darstellung eine Temperatur von 20°C gewählt. Bei dieser Referenztemperatur wird ein temperaturinduzierter Anteil  $C_{m,T}$ ,  $C_{r,T}$  als 0 angenommen.

**[0061]** Die Koeffizienten  $\xi_k$  und  $\eta_k$  sind durch die Messung und die Interpolation bekannt.

Anzumerken ist, dass im vorliegenden Ausführungsbeispiel davon ausgegangen wird, dass eine Temperaturerhöhung zu einer konkaven Biegung der Membran **102**, d.h. einer Verringerung des Abstands zwischen der Membranelektrode **108** und der Messelektrode **106** und damit einer Erhöhung der Messkapazität  $C_{m,meas}$  führt. Durch die umlaufende Befestigung der Membran **102** mittels der Fügung **103** an dem Grundkörper **104** führt eine konkave Biegung der Membran **102** in der Membranmitte zu einer Gegenbiegung im Randbereich und damit zu einer Vergrößerung des Abstands zwischen der Membranelektrode **108** und der Referenzelektrode **107**, was eine Verringerung der Referenzkapazität  $C_{r,meas}$  zur Folge hat.

**[0062]** Je nach Aufbau und Dimensionierung der Druckmesszelle **100** kann auch der jeweils gegenteilige Effekt auftreten, was dann aber aufgrund der Messungen und der darauf basierenden Interpolation automatisch Eingang in die oben dargestellt Abhängigkeit erhält.

**[0063]** Es hat sich überraschenderweise gezeigt, dass sich die Messkapazität  $C_{m,meas}$  und die Referenzkapazität  $C_{r,meas}$  auch im Falle eines Thermoschocks **TS**, d.h. einer auf die Membran **102** einwirkenden schnellen Temperaturänderung  $\Delta T$ , in einer bestimmbaren Abhängigkeit  $C_{r,TS}(C_{m,TS})$  voneinander ändern. In **Fig. 4** ist diese Abhängigkeit des thermoschockinduzierten Anteils der  $C_{r,TS}$  der Referenzkapazität von dem thermoschockinduzierten Anteil  $C_{m,TS}$  der Messkapazität für verschiedene Druckmesszellen **100** dargestellt.

**[0064]** Im einfachsten Fall besteht ein linearer Zusammenhang (Kurve **401**) sowohl für heiße als auch kalte Thermoschocks ( $\Delta T > 0$  bzw.  $\Delta T < 0$ ). Ein linearer Zusammenhang wurde bei Druckmesszellen **100**

mit einem Messbereich für Drücke  $p$  größer einem Bar festgestellt.

**[0065]** Solche Druckmesszellen weisen eine Membran **102** mit einer Dicke ab ca. 0,25 mm auf, wobei für größere Drücke dickere Membranen zum Einsatz kommen.

**[0066]** Für Druckmesszellen **100** mit einem Messbereich für kleine Drücke  $p$  im Bereich einiger Zehntel Bar, die eine Membran einer Dicke von etwa 1/10 mm aufweisen, reicht die lineare Beschreibung nicht aus, den Sachverhalt mit hinreichender Genauigkeit zu beschreiben und muss auf eine kubische Ausgleichsfunktion **402** zurückgegriffen werden.

**[0067]** Alternativ sind auch Ausgestaltungen von Druckmesszellen **100** möglich, bei denen zwei unterschiedliche Funktionen für kalte und heiße Thermoschocks notwendig sind.

**[0068]** Abhängig von den erhaltenen Messwerten kann die korrekte Variante zur Darstellung der Abhängigkeit ausgewählt werden. Eine kubische Abhängigkeit  $C_{r,TS}$  ( $C_{m,TS}$ ) der thermoschockinduzierten Anteile, wie sie in Kurve **402** gezeigt ist, kann wie folgt dargestellt werden:

$$C_{r,TS} = \sum_{j=0}^3 b_j C_{m,TS}^j$$

**[0069]** Zusammenfassend erhält man dadurch zwei Gleichungssysteme mit nur noch zwei Unbekannten  $C_{m,p}$  und  $C_{m,TS}$ .

$$C_{m,p} = C_{m,meas} - C_{m,TS} - \sum_{k=0}^2 \xi_k (T - T_{ref})^k$$

$$\sum_{i=0}^2 a_i C_{m,p}^i = C_{r,meas} - \sum_{j=0}^3 b_j C_{m,TS}^j - \sum_{k=0}^2 \eta_k (T - T_{ref})^k$$

**[0070]** Durch Kombination der beiden Gleichungen lässt sich dies auf eine Gleichung reduzieren:

$$\sum_{i=0}^2 a_i \left( C_{m,meas} - C_{m,TS} - \sum_{k=0}^2 \xi_k (T - T_{ref})^k \right)^i = C_{r,meas} - \sum_{j=0}^3 b_j C_{m,TS}^j - \sum_{k=0}^2 \eta_k (T - T_{ref})^k$$

**[0071]** Durch ausschreiben der o.g. Polynome und Zusammenfassung der Koeffizienten zu einem neuen Koeffizienten  $\epsilon$  lässt sich die Gleichung wie folgt darstellen und es können die gesuchten Korrekturparameter durch Ermittlung der Nullstellen des Polynoms

$$\sum_{l=0}^3 \epsilon_l C_{m,TS}^l = 0$$

ermittelt werden.

**[0072]** Die Koeffizienten  $\epsilon_i$  ergeben sich damit wie folgt:

$$\epsilon_3 = b_3$$

$$\epsilon_2 = b_2 + a_2$$

$$\epsilon_1 = b_1 - a_1 - 2a_2 \left( C_{m,meas} - \sum_{k=0}^2 \xi_k (T - T_{ref})^k \right)$$

$$\epsilon_0 = b_0 - \left( C_{r,meas} - \sum_{k=0}^2 \eta_k (T - T_{ref})^k \right) + \sum_{i=0}^2 a_i \left( C_{m,meas} - \sum_{k=0}^2 \xi_k (T - T_{ref})^k \right)^i$$

**[0073]** Da sämtliche Koeffizienten der  $a_i$ ,  $b_i$ ,  $\xi_k$  und  $\eta_k$  durch die Messungen bekannt sind und die Systemtemperatur  $T$  und auch die gemessene Messkapazität  $C_{m,meas}$  bei der Messung ermittelt werden, können sämtliche Koeffizienten  $\epsilon_i$  ermittelt werden. Somit kann die Ermittlung von  $C_{m,TS}$  aus dem kubischen Gleichungssystem beispielsweise über ein iteratives Verfahren, bspw. das Newton Verfahren zur Ermittlung der Nullstellen oder über ein analytisches Verfahren, beispielsweise über die cardanischen Formeln erfolgen.

**[0074]** Aufgrund der bekannten Abhängigkeiten, die aus den Messungen und den darauf basierenden Interpolationen bekannt sind ergeben sich alle weiteren Werte.

**[0075]** In **Fig. 5** ist beispielhaft der Messwertverlauf einer keramischen 0,1 bar Relativdruckmesszelle **100**, wie sie in **Fig. 1** gezeigt ist mit und ohne Anwendung des hier beschriebenen Verfahrens während eines Thermoschocks gezeigt. Dargestellt ist der Messwert **MW** in Abhängigkeit von der Zeit  $t$ , wobei zum Zeitpunkt  $t = 0$  sein Thermoschock von ca. 100 °C/s bei einer gleichzeitigen Druckerhöhung auf 50% des Maximaldrucks der Messzelle (etwa 50 cm Wassersäule) auf die Druckmesszelle **100** einwirkt.

**[0076]** Dargestellt ist der relative Messwert **MW** bezogen auf den vor dem Thermoschock **TS** anliegenden Druck  $p$ .

**[0077]** Kurve **501** ist dabei direkt aus den Messwerten  $C_{m,meas}$  und  $C_{r,meas}$  ohne Berücksichtigung der vorgeschlagenen Thermoschockkompensation

ermittelt. Kurve **502** zeigt den Messwertverlauf mit der vorgeschlagenen Thermoschockkompensation durch Bestimmung der Werte  $C_{m,TS}$ ,  $C_{r,TS}$ ,  $C_{m,T}$  und  $C_{r,T}$ .

**[0078]** Aus **Fig. 5** geht eindeutig hervor, dass durch das Verfahren der vorliegenden Anmeldung ein Thermoschock annähernd vollständig kompensiert werden kann, wohingegen sich ein Messwert ohne Anwendung des vorgeschlagenen Verfahrens erst nach etwa 30 Sekunden an den tatsächlichen Druck **p** annähert und damit für diese Zeitdauer keine verwertbaren Messergebnisse liefert.

**[0079]** Für die Ermittlung der Korrekturparameter sind Polynome maximal 3. Ordnung ausreichend. Für eventuell komplexere Zusammenhänge zwischen den Parameter sind aber auch Polynome höherer Ordnung denkbar. Der Vorteil der Beschreibung mittels Polynomen liegt darin, dass sich der beschriebene Zusammenhang analytisch vollständig lösen lässt.

$C_{r,p}$	druckinduzierter Anteil der Referenzkapazität
$C_{r,T}$	temperaturinduzierter Anteil der Referenzkapazität
$C_{r,TS}$	thermoschockinduzierter Anteil der Referenzkapazität
<b>MW</b>	Messwert
<b>p</b>	Druck
<b>t</b>	Zeit
<b>T</b>	Systemtemperatur
$T_{ref}$	Referenztemperatur
<b>TS</b>	Thermoschock
<b><math>\Delta T</math></b>	Temperaturunterschied, Größe des Thermoschocks

**Patentansprüche**

1. Verfahren zur Messwertkompensation bei kapazitiven Druckmesszellen (100) mit einer Messkapazität und mindestens einer Referenzkapazität, mit folgenden Schritten:

- Bestimmung einer druckinduzierten Kapazitätsänderung der Referenzkapazität ( $C_{r,p}$ ) in Abhängigkeit einer druckinduzierten Kapazitätsänderung der Messkapazität ( $C_{m,p}$ ),
- Bestimmung einer thermoschockinduzierten Kapazitätsänderung der Referenzkapazität ( $C_{r,TS}$ ) in Abhängigkeit einer thermoschockinduzierten Kapazitätsänderung der Messkapazität ( $C_{m,TS}$ ),
- Messung der Messkapazität ( $C_{m,meas}$ ) und der mindestens einen Referenzkapazität ( $C_{r,meas}$ ),
- Bestimmung der thermoschockinduzierten Kapazitätsänderung der Messkapazität ( $C_{m,TS}$ ) aus einer Kombination der obigen Abhängigkeiten,
- Kompensation der gemessenen Messkapazität ( $C_{m,meas}$ ) um die thermoschockinduzierte Kapazitätsänderung der Messkapazität ( $C_{m,TS}$ ) und
- Bestimmung und Ausgabe der druckinduzierten Kapazitätsänderung ( $C_{m,p}$ ) oder einer davon abgeleiteten Größe.

2. Verfahren gemäß Anspruch 1 mit folgenden zusätzlichen Schritten:

- Bestimmung einer statischen temperaturinduzierten Kapazitätsänderung der Messkapazität ( $C_{m,T}$ ) in Abhängigkeit von einer Referenztemperatur ( $T_{ref}$ ) und der Systemtemperatur (T)
- Bestimmung einer statischen temperaturinduzierten Kapazitätsänderung der mindestens einen Referenzkapazität ( $C_{r,T}$ ) in Abhängigkeit von einer Referenztemperatur ( $T_{ref}$ ) und der Systemtemperatur (T)
- Messung der Systemtemperatur (T),
- Bestimmung temperaturinduzierten Änderung der Messkapazität ( $C_{m,T}$ ),
- Kompensation der Messkapazität ( $C_{m,meas}$ ) um die thermoschockinduzierte Kapazitätsänderung der

Bezugszeichenliste

<b>100</b>	Druckmesszelle
<b>102</b>	Membran
<b>103</b>	Fügung
<b>104</b>	Grundkörper
<b>105</b>	Temperatursensor
<b>106</b>	Messelektrode
<b>107</b>	Referenzelektrode
<b>108</b>	Membranelektrode
<b>200</b>	Kennlinie $C_{r,p}$ ( $C_{m,p}$ )
<b>301</b>	Kennlinie $C_{r,T}$ (T)
<b>302</b>	Kennlinie $C_{m,T}$ (T)
<b>401</b>	Kennlinie $C_{r,TS}$ ( $C_{m,TS}$ ) für dicke Membranen
<b>402</b>	Kennlinie $C_{r,TS}$ ( $C_{m,TS}$ ) für dünne Membranen
<b>501</b>	Ausgabewert ohne Kompensation
<b>502</b>	Ausgabewert mit Kompensation
$C_{m,meas}$	gemessener Kapazitätswert der Messkapazität
$C_{m,p}$	druckinduzierter Anteil der Messkapazität
$C_{m,T}$	temperaturinduzierter Anteil der Messkapazität
$C_{m,TS}$	thermoschockinduzierter Anteil der Messkapazität
$C_{r,meas}$	gemessener Kapazitätswert der Referenzkapazität

Messkapazität ( $C_{m,TS}$ ) und die temperaturinduzierte Änderung der Messkapazität ( $C_{m,T}$ ) und  
 - Bestimmung und Ausgabe der druckinduzierten Kapazitätsänderung der Messkapazität ( $C_{m,T}$ ) oder einer davon abgeleiteten Größe.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Bestimmung der druckinduzierten Kapazitätsänderung der Referenzkapazität ( $C_{r,p}$ ) in Abhängigkeit der druckinduzierten Kapazitätsänderung der Messkapazität ( $C_{m,p}$ ) die Messung der Abhängigkeit vorzugsweise für jede Druckmesszelle (100) für eine Mehrzahl von wenigstens drei Messpunkten und eine erste Interpolation auf Basis dieser Messpunkte umfasst.

4. Verfahren nach Anspruch 3 **dadurch gekennzeichnet**, dass die erste Interpolation der druckinduzierten Kapazitätsänderung der Referenzkapazität ( $C_{r,p}$ ) in Abhängigkeit einer druckinduzierten Kapazitätsänderung der Messkapazität ( $C_{m,p}$ ) mit einem ersten Polynom wenigstens zweiten Grades erfolgt.

5. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 2 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Bestimmung der statischen temperaturinduzierten Kapazitätsänderung der Messkapazität ( $C_{m,T}$ ) in Abhängigkeit von einer Referenztemperatur ( $T_{ref}$ ) und der Systemtemperatur ( $T$ ) die Messung der Messkapazität ( $C_{m,meas}$ ) in Abhängigkeit von der Systemtemperatur ( $T$ ) vorzugsweise für jede Druckmesszelle (100) für wenigstens zwei Messpunkte und eine zweite Interpolation auf Basis dieser Messpunkte umfasst.

6. Verfahren gemäß Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die zweite Interpolation mit einem zweiten Polynom wenigstens zweiten Grades erfolgt.

7. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 2 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Bestimmung der statischen temperaturinduzierten Kapazitätsänderung der Referenzkapazität ( $C_{r,T}$ ) in Abhängigkeit von der Referenztemperatur ( $T_{ref}$ ) und der Systemtemperatur ( $T$ ) die Messung der Messkapazität in Abhängigkeit ( $C_{m,meas}$ ) der Systemtemperatur ( $T$ ) vorzugsweise für jede Messzelle für wenigstens zwei Messpunkte und eine dritte Interpolation auf Basis dieser Messpunkte umfasst.

8. Verfahren gemäß Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass die dritte Interpolation mit einem dritten Polynom wenigstens zweiten Grades erfolgt.

9. Verfahren gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Bestimmung der thermoschockinduzierten Kapazitätsänderung der Referenzkapazität ( $C_{r,TS}$ ) in Abhängigkeit der thermoschockinduzierten Kapazitätsänderung der Messkapazität ( $C_{m,TS}$ ) die Messung die-

ser Abhängigkeit für eine Mehrzahl von Druckmesszellen (100) einer Produktionscharge für jeweils wenigstens drei Messpunkten und eine vierte Interpolation auf Basis dieser Messpunkte umfasst.

10. Verfahren gemäß Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass die vierte Interpolation mit einem vierten Polynom wenigstens ersten Grades erfolgt.

11. Verfahren gemäß Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass für dicke Membranen (102) mit einer Dicke von mehr als 0,25 mm eine Interpolation mit einem Polynom ersten Grades und für dünne Membranen (102) mit einer Dicke von 0,25 mm oder weniger eine Interpolation mit einem Polynom dritten Grades erfolgt.

Es folgen 3 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

Fig. 1

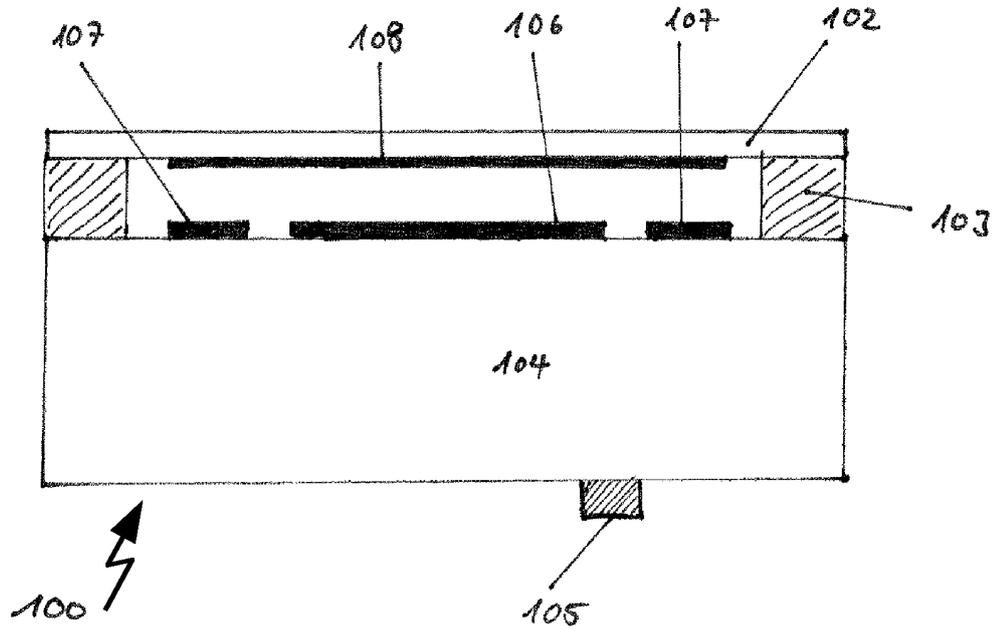


Fig. 2

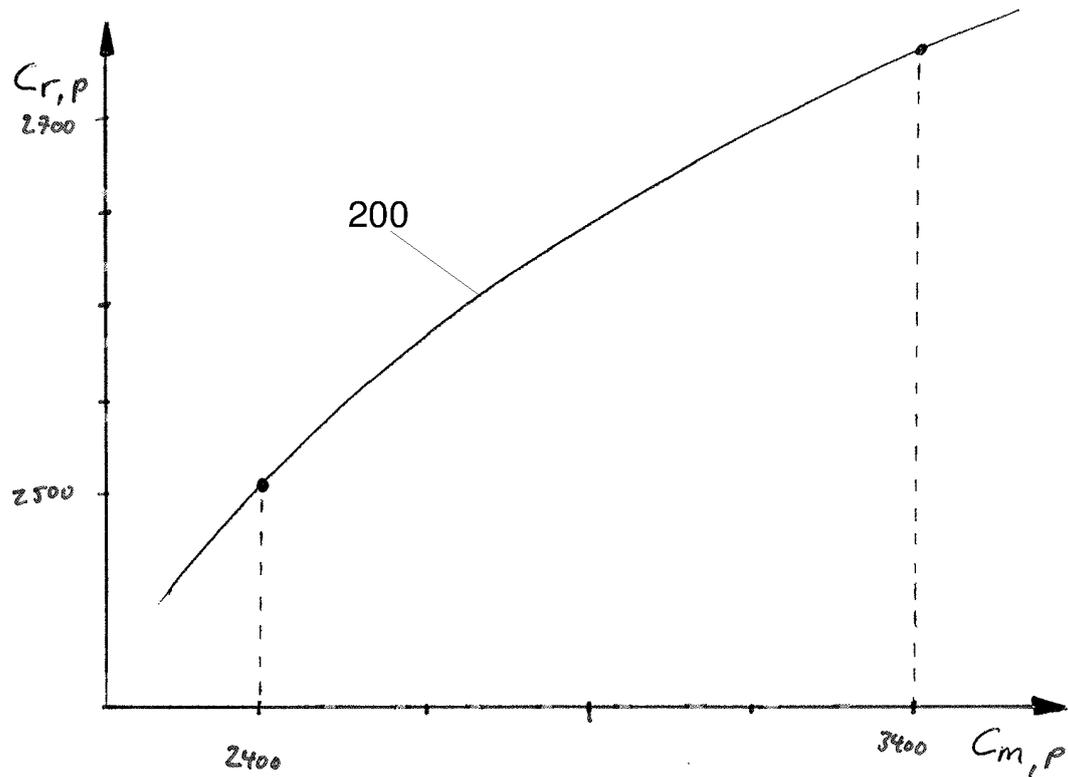


Fig. 3

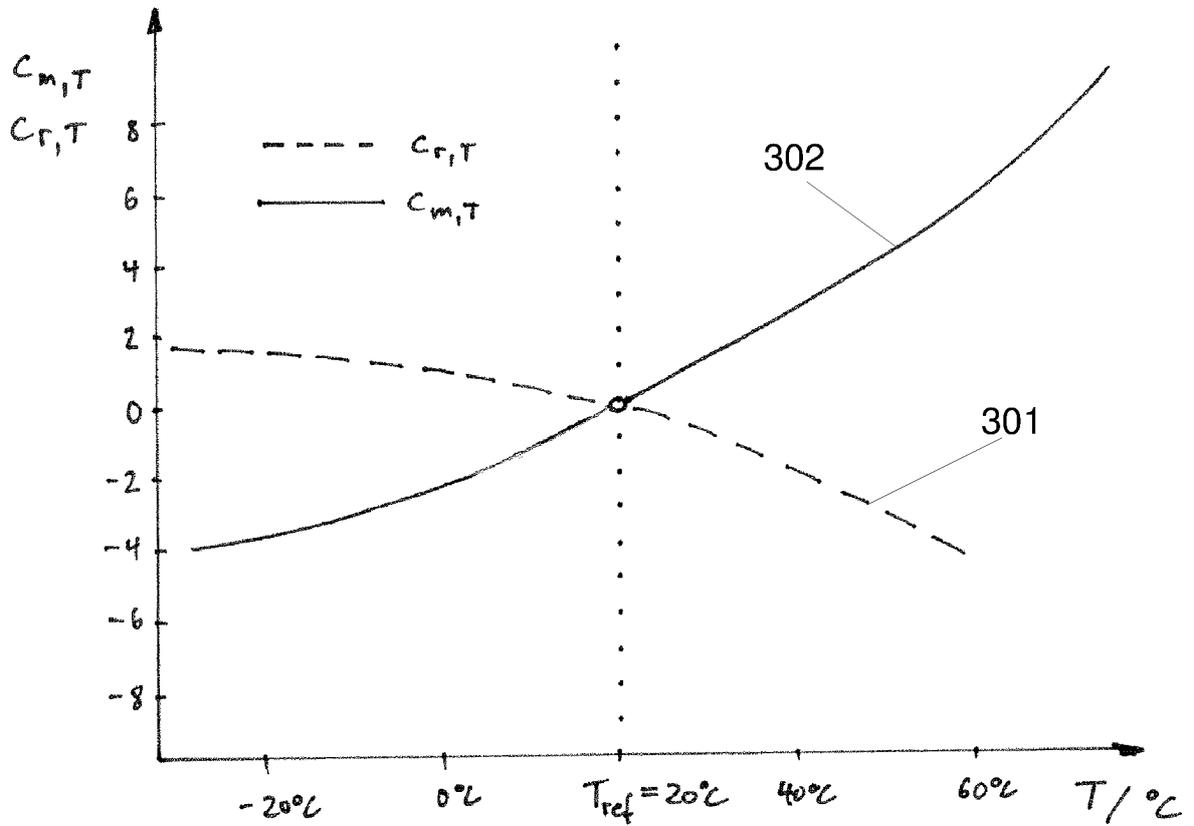


Fig. 4

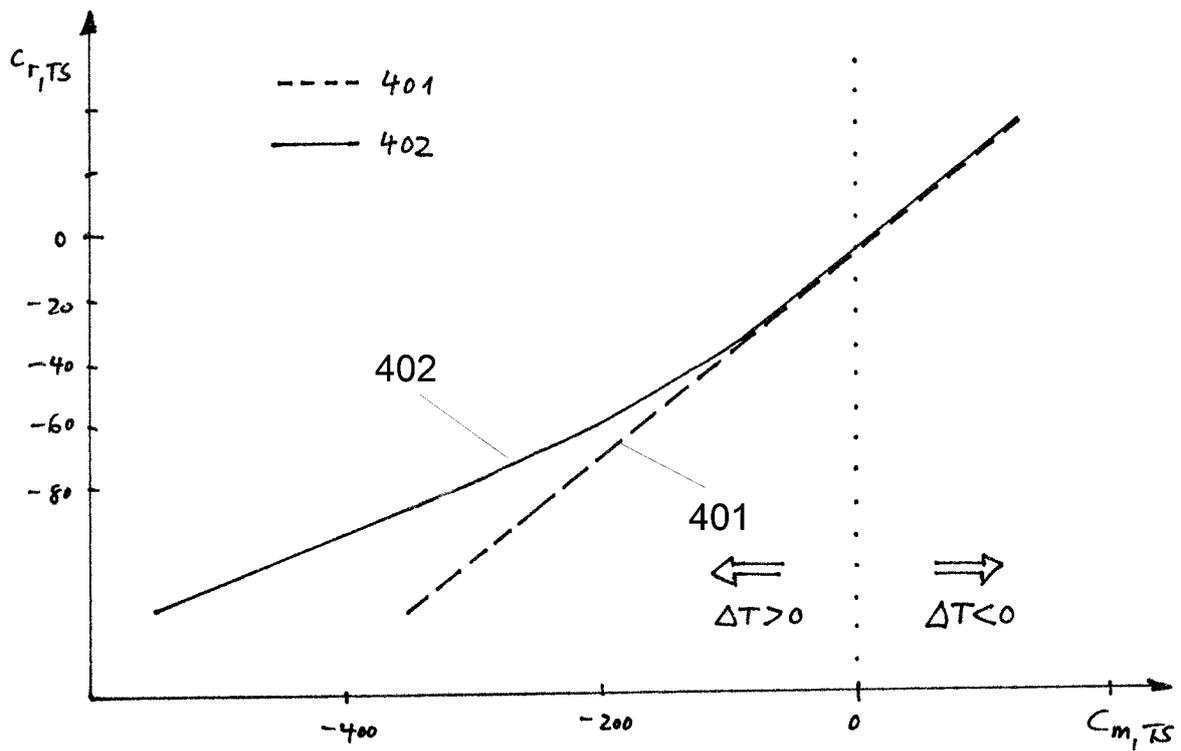


Fig. 5

