



(10) **DE 10 2011 084 972 B4** 2015.07.16

(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2011 084 972.6**
(22) Anmeldetag: **21.10.2011**
(43) Offenlegungstag: **28.06.2012**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **16.07.2015**

(51) Int Cl.: **G01L 15/00 (2006.01)**
G01L 27/00 (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).

(66) Innere Priorität:
10 2010 043 402.7 04.11.2010

(73) Patentinhaber:
ifm electronic gmbh, 45128 Essen, DE

(72) Erfinder:
Walter, Heinz, 88145 Hergatz, DE

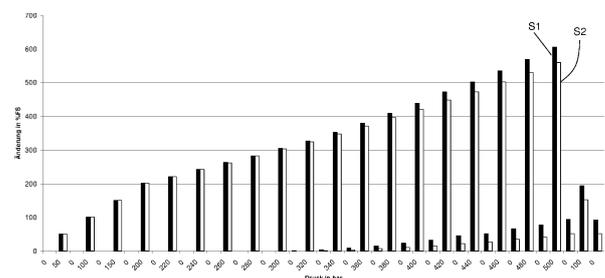
(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	195 27 687	A1
DE	197 28 381	A1
DE	10 2007 016 792	A1
DE	600 28 678	T2

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Korrektur von Messwerten einer Druckmesszelle, deren Membran durch eine erhöhte Druckbelastung eine plastische Verformung erfahren hat**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zur Korrektur von Messwerten einer Druckmesszelle, deren Membran durch eine erhöhte Druckbelastung eine plastische Verformung erfahren hat, auf den tatsächlich an der Druckmesszelle anliegenden Druck eines angrenzenden Mediums, wobei die Druckmesszelle eine elastische Membran (2) aufweist, auf der ein erster elektromechanischer Wandler (13) angeordnet ist, der ein erstes druckabhängiges Ausgangssignal (S1) liefert, und ein zweiter elektromechanischer Wandler (14) angeordnet ist, der ein zweites druckabhängiges Ausgangssignal (S2) liefert, und beide Wandler (13, 14) so angeordnet sind, dass die Ausgangssignale (S1, S2) bei einer elastischen reversiblen Verformung der Membran (2) eine erste Druckcharakteristik aufweisen und nach einer irreversiblen Verformung der Membran (2) durch eine erhöhte Druckbelastung eine signifikant unterschiedliche zweite Druckcharakteristik aufweisen, gekennzeichnet durch folgende Verfahrensschritte:

- Ermitteln der Differenz zwischen dem ersten Ausgangssignal (S1) und dem zweiten Ausgangssignal (S2),
- Feststellen, ob die erste oder zweite Druckcharakteristik vorliegt aufgrund der ermittelten Differenz,
- im Falle der ersten Druckcharakteristik Ausgabe des ersten Ausgangssignals (S1) an eine Auswerte- und/oder Steuereinheit zur weiteren Verarbeitung,
- im Falle der zweiten Druckcharakteristik Korrektur des ersten Ausgangssignals (S1) um einen Differenzbetrag in Abhängigkeit von der vorgelegenen Überlastsituation und Ausgabe dieses korrigierten ersten Ausgangssignals an eine Auswerte- und/oder Steuereinheit zur weiteren Verarbeitung.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Korrektur von Messwerten einer Druckmesszelle, deren Membran durch eine erhöhte Druckbelastung eine plastische Verformung erfahren hat, auf den tatsächlich an der Druckmesszelle anliegenden Druck eines angrenzenden Mediums, wobei die Druckmesszelle eine elastische Membran aufweist, auf der ein erster elektromechanischer Wandler angeordnet ist, der ein erstes druckabhängiges Ausgangssignal liefert, und ein zweiter elektromechanischer Wandler angeordnet ist, der ein zweites druckabhängiges Ausgangssignal liefert, und beide Wandler so angeordnet sind, dass die Ausgangssignale bei einer elastischen reversiblen Verformung der Membran eine erste Druckcharakteristik aufweisen und nach einer irreversiblen Verformung der Membran durch eine erhöhte Druckbelastung eine signifikant unterschiedliche zweite Druckcharakteristik aufweisen.

[0002] Messzellen der in Rede stehenden Art und damit auch Messgeräte mit einer solchen Messzelle sind seit längerem bekannt und werden beispielsweise in vielen Bereichen der Prozessmesstechnik zur messtechnischen Prozessbeobachtung eingesetzt. Die Messzelle ist Bestandteil des Messgeräts, wobei der Messzelle die elementare Aufgabe zukommt, die zu bestimmende physikalische Größe Druck unmittelbar oder mittelbar zu erfassen und in ein korrespondierendes Messsignal umzuwandeln. Derartige Messgeräte werden von der Anmelderin bspw. unter den Gerätebezeichnungen PTxx und PKxx hergestellt und in Verkehr gebracht. Die Messbereiche gehen derzeit üblicherweise bis 400 bar.

[0003] Bei der Druckmessung soll häufig der Druck innerhalb eines an die Messzelle angrenzenden Mediums erfasst werden, wobei die Messzelle eine elastische Membran aufweist, deren eine Seite zumindest teilweise mit dem Medium in Kontakt steht und deren andere Seite von dem Medium abgewandt ist. Der Druck innerhalb des üblicherweise gasförmigen, flüssigen, pastösen oder zumindest schüttfähigen Mediums wird dadurch ermittelt, dass das Medium die elastische Membran in Abhängigkeit von dem innerhalb des Mediums herrschenden Drucks verschieden stark auslenkt. Die Auslenkung bzw. reversible Deformation der Membran wird in ein korrespondierendes Messsignal umgewandelt, beispielsweise von einem Dehnungsmessstreifen, der mit der ausgelenkten Membran verformt wird, in einen entsprechenden Widerstandswert bzw. Spannungs- oder Stromwert.

[0004] Die Lebenserwartung einer Messzelle oder eines Messgeräts ist aufgrund der möglicherweise sehr stark variierenden Belastung nicht oder nur sehr ungenau vorher bestimmbar. Beispielsweise kann ein einziger, kurzzeitiger Druckimpuls auf die Membran einer Druckmesszelle die sofortige Zerstörung

des Messgeräts bzw. der Druckmesszelle bewirken, wenn die Membran Schaden nimmt. Sie kann irreversibel, d. h. plastisch verformt werden oder einreißen. Als Material für die Membranoberfläche wird im Wesentlichen Stahl, Silizium oder Keramik verwendet. Silizium und Keramik sind relativ spröde, so dass es zu keiner plastischen Verformung kommt. Aber bei Messzellen aus Stahl kann sich bspw. durch Überlastung eine plastische Verformung ergeben. Diese Verformung kann zur Folge haben, dass ein als Druckwert interpretiertes Signal gemessen wird, das lediglich aufgrund der ungewollten plastischen Verformung entsteht und nicht mit dem tatsächlichen Druck übereinstimmt. Im Ergebnis liefert die Messzelle kein verlässliches Messsignal mehr, aus dem entnommen werden kann, ob ein Druck anliegt und gegebenenfalls in welcher Höhe.

[0005] Problematisch ist nun, festzustellen, ob ein sich ergebender Messwert aufgrund einer Schädigung der Messzelle ermittelt worden und damit fehlerhaft ist, oder ob der gemessene Wert dem tatsächlichen Druckwert innerhalb des Mediums im Rahmen der Messgenauigkeit entspricht. Insbesondere in Anlagen, bei denen entsprechende Stufen der Funktionalen Sicherheit (SIL) eingehalten werden müssen, ist die Verlässlichkeit der Messsignale hinsichtlich ihres Wahrheitsgehaltes ein wesentlicher Aspekt.

[0006] Eine Möglichkeit besteht darin, entsprechende Redundanzsysteme aufzubauen. Eine derartige Möglichkeit sieht die Verwendung von zwei Messgeräten vor, wobei sich beide hinsichtlich ihres Druckbereichs unterscheiden und das Messgerät mit der größeren Druckfestigkeit – aber dadurch geringeren Messgenauigkeit – dabei die Redundanzfunktion übernimmt. Auf diese Weise kann festgestellt werden, ob beide Messgeräte den annähernd gleichen Druckwert messen, da im Fall eines Überdrucks das robustere Messgerät mit der größeren Druckfestigkeit noch den tatsächlichen Druckwert misst, während das andere Messgerät aufgrund einer Beschädigung der Messzelle einen abweichenden Wert ausgibt. Bei einem festgestellten Unterschied können dann entsprechende Maßnahmen ergriffen werden. Nachteilig ist, dass diese Lösung durch den doppelten Aufbau – auch bei Integration der redundanten Systeme in einem gemeinsamen Gehäuse – teuer und aufwendig ist. Zum anderen können auf diese Weise systematische Fehler nicht oder nur schwer erkannt werden.

[0007] Die DE 10 2007 016 792 A1 schlägt vor, die Membran und damit die Messzelle über ein aktivierbares Auslenkmittel zu erregen, wobei die Reaktion auf die Erregung durch das aktivierbare Auslenkmittel bevorzugt über Erfassung jener physikalischen Größe erfolgt, zu deren Erfassung die Messzelle ohnehin vorgesehen ist. Die Reaktion der Messzelle auf die durch das aktivierbare Auslenkmittel hervorgeru-

fene Erregung hängt unter anderem davon ab, ob die Messzelle beschädigt ist oder nicht, so dass der Betriebszustand der Messzelle bzw. des Messgeräts aktiv diagnostizierbar ist. Veränderungen an der elastischen Membran wirken sich erheblich auf die Reaktion der Messzelle aus, so dass durch Vergleich der tatsächlichen Systemantwort mit der erwarteten Systemantwort einer intakten Messzelle ein Fehlerfall erkennbar ist. Bedingung ist aber, dass es sich bei dem Auslenkmittel um ein über eine elektrische Spannung aktivierbares Element, beispielsweise ein Piezoelement, handelt.

[0008] Auch die DE 195 27 687 A1 beschäftigt sich mit der Überprüfung der Funktionsfähigkeit von Drucksensoren, wobei sowohl Alterungserscheinungen, Korrosion und Bruch als auch eine plastische Verformung der Druckmessmembran erkannt werden. Hierfür ist vorgesehen, dass durch zwei voneinander unabhängige Widerstandsmessbrücken auf jeweils einer Membranhälfte der Druckmesszelle eine Überprüfung der Funktionsfähigkeit des Sensors während des Betriebs ohne besondere Referenzmessungen erfolgt. Zusätzlich soll sich die Verfügbarkeit des Sensors erhöhen, da auch bei Ausfall einer Widerstandsmessbrücke ein Notlauf des Systems mit der anderen Messbrücke gewährleistet ist. Aufgrund der unterschiedlichen Auswertungen einer Druckänderung in den beiden Sensorhälften werden die Fehler erkannt, die ansonsten zu gleichsinnigen Änderungen der Brückenwiderständen führen und sich damit im Brücken-Offset kompensieren würden.

[0009] Aus der DE 600 28 678 T2 ist eine Vorrichtung zur Erfassung einer physikalischen oder dynamischen Größe und ein System zur Erfassung einer Fehlfunktion oder Anomalie, die in dieser Vorrichtung enthalten ist, bekannt. Es werden mehrere Möglichkeiten vorgeschlagen, eine Sensorfehlfunktionserkennung durchzuführen.

[0010] Ein weiteres Problem besteht darin, welche Folgemaßnahmen aus dem Erkennen eines aufgrund einer Schädigung der Messzelle fehlerhaften Messwertes ergriffen werden sollen, insbesondere wenn die Schädigung der Messzelle im laufenden Betrieb stattfindet. Eine komplette Abschaltung der Anlage kann nicht in allen Fällen die richtige Folgemaßnahme sein. Der ausgelenkte Arm eines Kranes z. B., an dem eine Last hängt, kann in dieser Position nicht verharren. Andererseits muss sichergestellt sein, dass ein kurzfristiges Weiterbetreiben der Krananlage kein unkalkulierbares Risiko darstellt. Im Ergebnis geht es darum, die vorgelegene Überlastsituation quantitativ zu bemessen und dadurch Rückschlüsse auf die Schädigung der Membran bzw. der Messzelle zu ziehen.

[0011] Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren vorzuschlagen, mit dem

im Falle einer plastischen, irreversiblen Verformung der Membran einer Druckmesszelle die vorgelegene Überlastsituation quantitativ bemessen werden kann und ein Zurückrechnen auf den an der Messzelle anliegenden Druck möglich ist.

[0012] Die aufgezeigte Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1. Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen angegeben.

[0013] Die Erfindung geht von einer Druckmesszelle aus, auf deren Membranoberfläche der vom Medium abgewandten Seite zwei elektromechanische Wandler angeordnet sind, die jeweils ein druckabhängiges Ausgangssignal liefern, wobei die beiden Wandler so angeordnet sind, dass deren Ausgangssignale bei einer elastischen reversiblen Verformung der Membran eine erste Druckcharakteristik aufweisen und nach einer irreversiblen Verformung der Membran durch eine erhöhte Druckbelastung eine signifikant unterschiedliche zweite Druckcharakteristik aufweisen. Das bedeutet, dass sich im Falle einer irreversiblen, d. h. plastischen Verformung die Ausgangssignale der elektromechanischen Wandler im Gegensatz zur elastischen Verformung im Normalfall derart unterschiedlich zueinander verhalten, dass dieser Unterschied erkennbar und damit die Verformung als Fehler anzeigbar ist. Unter der Formulierung „erhöhte Druckbelastung“ ist dabei jegliche Einwirkung zu verstehen, die die Membran aufgrund des auf sie einwirkenden Drucks verformen wird, insbesondere hervorgerufen durch den Druck im Medium an sich, aber auch durch Partikel, wie bspw. Steine oder andere Teilchen, die sich gewollt oder ungewollt im Medium befinden.

[0014] Die Membran dieser Druckmesszelle ist vorzugsweise als Stahlmembran ausgeführt, auf der mehrere Messelemente im inneren Bereich zu einem elektromechanischen Wandler, insbesondere einer Widerstandsmessbrücke zusammengeschaltet sind. Beide Wandler sind unabhängig voneinander, d. h. sie beeinflussen sich gegenseitig nicht und sind elektronisch voneinander entkoppelt. Es handelt sich somit um ein Redundanzsystem, d. h. zwei unabhängige Messsysteme, die sich aber auf derselben Membranoberfläche einer Druckmesszelle befinden. Als Messelemente kommen dabei insbesondere Dehnungsmessstreifen oder Widerstandspaste oder Piezoelemente infrage. Die Dehnungsmessstreifen können in Dickfilmtechnik als Dickfilmwiderstand oder alternativ in Dünnschichttechnik als Dünnschichtwiderstand ausgeführt sein.

[0015] Das erfindungsgemäße Verfahren ist durch folgende Verfahrensschritte gekennzeichnet:

- Ermitteln der Differenz zwischen dem ersten Ausgangssignal und dem zweiten Ausgangssignal,
- Feststellen, ob die erste oder zweite Druckcharakteristik vorliegt aufgrund der ermittelten Differenz,
- im Falle der ersten Druckcharakteristik Ausgabe des ersten Ausgangssignals an eine Auswerte- und/oder Steuereinheit zur weiteren Verarbeitung,
- im Falle der zweiten Druckcharakteristik Korrektur des ersten Ausgangssignals (S1) um einen Differenzbetrag in Abhängigkeit von der vorgelegenen Überlastsituation und Ausgabe dieses korrigierten ersten Ausgangssignals (S1') an eine Auswerte- und/oder Steuereinheit zur weiteren Verarbeitung.

[0016] In einer Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, dass das korrigierte erste Ausgangssignal durch Reduzierung des ersten Ausgangssignals um einen bestimmten Offset-Betrag erzeugt wird, wobei der Offset-Betrag gemäß der vorgelegenen Überlastsituation ermittelt wird. Der Betrag des Offsets verhält sich monoton steigend zur vorgelegenen Überlastsituation, d. h. je größer die Druckspitze war desto höher der Offset. Im Ergebnis führt dieser Offset-Betrag um eine Erhöhung der im weiteren Verlauf der Messung gemessenen Druckwerte, auch wenn sich diese Druckwerte wieder im Nenndruckbereich befinden. Somit kann bei Kenntnis des Offset-Betrags auf den tatsächlich anliegenden Druck geschlossen werden, indem der Betrag des Offsets von dem gemessenen Druckwert abgezogen wird.

[0017] Aufgrund der unterschiedlichen Position der Messelemente besitzen beide Wandler einen unterschiedlichen, aber bekannten Signalverlauf im Nenndruckbereich. Vorteilhaft ist es, vor der Ermittlung der Differenz zwischen dem ersten Ausgangssignal und dem zweiten Ausgangssignal die im Nenndruckbereich nahezu linearen Kennlinien beider Ausgangssignale derart zu verändern bzw. zu korrigieren, dass sie einen im Wesentlichen gleichmäßigen Abstand zueinander aufweisen oder deckungsgleich sind. Dies kann bspw. mit Hilfe von entsprechend angepassten Verstärkungsfaktoren erfolgen. Kleinere Abweichungen von der Deckungsgleichheit fallen unter die Toleranz. Besonders vorteilhaft ist es, die zweite Druckcharakteristik – d. h. die plastische Verformung – dadurch erkennbar zu machen, dass die Differenz zwischen dem ersten Ausgangssignal und dem zweiten Ausgangssignal einen vorgegebenen Grenzwert überschreitet.

[0018] In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung ist eine Speichereinheit vorgesehen, in der eine Messwerttabelle hinterlegt ist, was typischerweise werkseitig erfolgt. In dieser Messwerttabelle ist der Verlauf des sich außerhalb des Nenndruckbereichs der Druckmesszelle ergebenden Differenzbetrages

zwischen dem ersten Ausgangssignal und dem zweiten Ausgangssignal über dem Druck abgebildet. Dieser Verlauf ist bevorzugt im Wesentlichen linear. Vorteilhafterweise wird nun zur Bestimmung des Offset-Betrags der ermittelte Differenzbetrag zwischen dem ersten Ausgangssignal und dem zweiten Ausgangssignal mit der hinterlegten Messwerttabelle abgeglichen und dabei ein dem ermittelten Differenzbetrag am nächsten kommender Druckwert aus der Messwerttabelle zugeordnet. Über die Messwerttabelle lässt sich somit auf die vorgelegene Überlastsituation schließen, d. h. wie groß die tatsächliche Druckspitze war, die zur plastischen Verformung der Membran geführt hat. Diese Information kann bspw. von Vorteil sein, um entscheiden zu können, ob ein risikofreier Weiterbetrieb der Anlage möglich ist, um sie in den sog. sicheren Zustand zu überführen.

[0019] Einer Alternative zu dieser Ausgestaltung liegt die Erkenntnis zugrunde, dass das Verhältnis zwischen dem zu bestimmenden Offset-Betrag und dem ermittelten Differenzbetrag zwischen dem ersten Ausgangssignal und dem zweiten Ausgangssignal einer gewissen Monotonie unterliegt. Im Ergebnis kann alternativ zur Verwendung einer Messwerttabelle der Offset-Betrag also auch so bestimmt werden, indem der Differenzbetrag zwischen dem ersten Ausgangssignal und dem zweiten Ausgangssignal mit einem festen Faktor multipliziert wird. Dieser Faktor ist abhängig u. a. von Material und Profil der Druckmesszelle, kann aber werkseitig ohne Weiteres bestimmt und in der Messschaltung berücksichtigt werden. Typischerweise liegt der Faktor bei 2, d. h. der Offset-Betrag ist betragsmäßig näherungsweise doppelt so groß wie die Differenz Differenzbetrag zwischen dem ersten Ausgangssignal und dem zweiten Ausgangssignal. Auf diese Weise kann eine Reduzierung der Bauteile erreicht und die Messschaltung insgesamt kleiner ausgeführt werden.

[0020] Eine ganz besonders vorteilhafte Weiterbildung der Erfindung sieht vor, dass die Auswerte- und/oder Steuereinheit einen optischen und/oder akustischen Warnhinweis ausgibt falls die zweite Druckcharakteristik, d. h. eine plastische Verformung der Membran vorliegt. Bevorzugt ist die Qualität und/oder die Quantität des Warnhinweises abhängig von der vorgelegenen Überlastsituation. Das bedeutet, dass die Art und Weise des Warnhinweises dem Anwender darüber informiert, wie groß bzw. wie schwerwiegend die vorgelegene Überlastsituation war. Entsprechend kann dann entschieden werden, welche Maßnahmen ergriffen werden müssen und in welcher Zeit.

[0021] In einer weiteren ganz besonders vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, dass der ermittelte Offset-Betrag als Schleppezeiger für die maximal in der Vergangenheit aufgetretene Überlastsituation dient. Dieser Wert könnte auf einfache Weise gespeichert werden, so dass nach einer Über-

lastsituation jederzeit eine Schadensanalyse möglich ist. Um die genauen Umstände zu erforschen, die zu der Überlastsituation geführt haben, ist von zentraler Bedeutung, wie groß die Druckspitze tatsächlich war. Dafür liefert das erfindungsgemäße Verfahren einen wesentlichen Beitrag. Ein ergänzender Vorteil ist darin zu sehen, dass die Schleppzeigerfunktion durch die Hardware selbst, d. h. durch die Verformung der Membran, realisiert wird und folglich eine nachträgliche Manipulation ausgeschlossen werden kann.

[0022] Nachfolgend wird die Erfindung im Zusammenhang mit Figuren anhand von Ausführungsbeispielen näher erläutert.

[0023] Es zeigen:

[0024] Fig. 1 Diagramm der unkorrigierten Signalverläufe der Messbrücken vor und nach einer plastischen Verformung,

[0025] Fig. 2 Diagramm der unkorrigierten Signalverläufe der Messbrücken bei Rückkehr in den Nenndruckbereich nach einer plastischen Verformung,

[0026] Fig. 3 Diagramm der korrigierte, d. h. in Deckung gebrachten Signalverläufe vor und nach einer plastischen Verformung,

[0027] Fig. 4 eine Draufsicht auf ein Ausführungsbeispiel einer Druckmesszelle, von der die Erfindung ausgeht,

[0028] Fig. 5 eine seitliche Schnittdarstellung eines Ausführungsbeispiels der Druckmesszelle aus Fig. 4,

[0029] Fig. 6 ein Blockschaltbild eines Druckmessgeräts in 3-Leiter-Ausführung, das eine derartige Druckmesszelle aufweist,

[0030] Fig. 7 ein Diagramm des Signalverlaufs vom ersten Ausgangssignal und dem zweiten Ausgangssignal über dem Druck und

[0031] Fig. 8 ein Diagramm des Verlaufs der Differenz zwischen dem ersten Ausgangssignal und dem zweiten Ausgangssignal über dem Druck.

[0032] In den nachfolgenden Figuren bezeichnen, sofern nicht anders angegeben, gleiche Bezugszeichen gleiche Teile mit gleicher Bedeutung.

[0033] In Fig. 1 ist ein Diagramm abgebildet, das die Signalverläufe S1, S2 der Messbrücken **13**, **14**, d. h. die sich aus der Widerstandsänderung ergebende Spannungsänderung in Abhängigkeit vom anliegenden Druck, vor und nach einer plastischen Verformung der Membran **2** zeigt, und zwar ohne dass die Signale S1, S2 bspw. durch Anwendung unterschiedlicher Verstärkungsfaktoren korrigiert bzw. verändert

wurden. Anzumerken ist zunächst, dass die nachfolgenden Diagramme der Fig. 1 bis Fig. 3 lediglich als schematische Abbildungen zu verstehen sind, um die Problematik zu verdeutlichen. Die gewählten Signalverläufe S1, S2 sind rein willkürlich und können daher von realen Beträgen abweichen. Dies ist insbesondere vom seitlichen Profil der Messzelle **1** abhängig, bspw. ob Verjüngungen als Sollknickstelle vorgesehen sind. Des Weiteren ist zu bemerken, dass die Fig. 1 bis Fig. 3 von der bevorzugten Ausführungsform ausgehen, bei der die erste Messbrücke **13** sich in den beiden inneren Bereichen **1a**, **1b** der Membrane **2** befindet und die zweite Messbrücke **14** in den beiden äußeren Bereichen **1c**, **1d**.

[0034] Im Nenndruckbereich kann man davon ausgehen, dass die Spannungsänderung über den Druck nahezu linear steigt. Die Gerade S1 mit dem größeren Anstieg wird durch die erste Messbrücke **13** erzeugt, die sich in den inneren Bereichen **1a**, **1b** befindet. Hier ist die Spannungsänderung über den Druck am größten. Die flacher verlaufende Gerade S2 wird durch die zweite Messbrücke **14** erzeugt, die sich in den äußeren Bereichen **1c**, **1d** befindet. Die Spannungsänderung über den Druck ist hier geringer als in der Mitte der Messzelle **1**. Dafür ist die Messzelle **1** in den äußeren Bereichen **1c**, **1d** robuster, d. h. der Signalverlauf ist auch noch über den Nenndruckbereich hinaus linear.

[0035] Die strichpunktierte Linien in Verlängerung der beiden Geraden soll den Signalverlauf darstellen, wie er sich verhält, wenn der Druck über den Nenndruckbereich hinaus ansteigt und die Messzelle **1** damit in den Bereich der plastischen Verformung kommt. Innerhalb des Nenndruckbereichs verformt sich die Messzelle **1** elastisch, so dass es innerhalb dieses Druckbereichs zu keinen irreversiblen Verformungen der Membran **2** kommt.

[0036] Der Wert p_{\max} kennzeichnet den Wert, der von der Messzelle **1** maximal erfahren wird, bspw. der maximale Wert einer Druckspitze. Nimmt nun der Druck wieder ab, bewegt sich der Signalverlauf jeweils auf den gestrichelten Linien. Deutlich wird, dass sich nun bei jedem Wert entgegen der ursprünglichen Situation noch eine Offset-Spannung ergibt. Die Ursache dafür ist, dass die Membran **2** aufgrund der plastischen Verformung eine zusätzliche Auslenkung erfährt. Die erste Messbrücke **13** erzeugt daraufhin einen Spannungswert, der von einer Auswerteeinheit fälschlicherweise als erhöhter Druckwert interpretiert wird.

[0037] Fig. 2 zeigt nochmals die Signalverläufe der beiden Messbrücken **13**, **14** wie sie sich nach einer plastischen Verformung der Membran **2** bei Rückkehr in den Nenndruckbereich verhalten, was in Fig. 1 als gestrichelte Linie dargestellt ist. Es soll dadurch nochmals die Problematik verdeutlicht werden, dass von

den beiden Messbrücken **13**, **14**, insbesondere aber von der ersten Messbrücke **13** auch bei $p = 0$ immer noch ein Spannungssignal geniert wird. Die nachgeschaltete Auswerteeinheit würde diese Spannungswerte jedoch als einen Wert $p > 0$ interpretieren. Je größer der Verformungsgrad der Membran **2** desto größer die sich einstellende Offset-Spannung. Wie bereits erläutert sind die Signalverläufe auch in diese Figur nur schematisch; reale Werte können hiervon abweichen.

[0038] Um diesem Problem zu begegnen werden nun zunächst die Signalverläufe beider Messbrücken **13**, **14** in Deckung gebracht, in dem die Signale S1, S2 der beiden Messbrücken **13**, **14** in den ihnen nachgeschalteten Verstärkereinheiten **15**, **16** mit unterschiedlichen Faktoren verstärkt werden. Das Ergebnis wird schematisch in **Fig. 3** gezeigt. Beide Kurven S1, S2 verlaufen zunächst übereinanderliegend aus dem Koordinatenursprung linear bis an die Grenze des Nenndruckbereichs. Im Überdruckbereich driftet als erstes die Messbrücke **13** im inneren Bereich der Membrane, d. h. sie verlässt den linearen Verlauf. Die Signale S2 der sich in den äußeren Bereichen **1c**, **1d** der Membrane **2** befindlichen zweiten Messbrücke **14** verlassen den linearen Verlauf erst später. Grund dafür ist, dass die äußeren Bereiche **1c**, **1d** der Membran **2** deutlich robuster sind und deshalb der Übergang von elastischer zu plastischer Verformung erst bei größeren Druckwerten erreicht ist. Dies stellt aber nur eine besondere Ausgestaltung dar, die maßgeblich vom Profil der Messzelle abhängt. Es ist genauso möglich, dass beide Signale ab demselben Überlastdruck ihre Linearität verlassen.

[0039] Der Wert p_{\max} kennzeichnet den maximalen Wert einer Überdruckspitze. Wenn sich nach einer Überdruckspitze der anliegende Druck wieder im Nenndruckbereich befindet, bewegen sich die Signalverläufe S1, S2 etwa gemäß der gestrichelten Linien, wie aus den **Fig. 1** und **Fig. 2** bekannt. Sie müssen nicht zwingend parallel verlaufen, wie in **Fig. 3** gezeigt, sondern können auch einen nicht-parallelen Verlauf aufweisen. Wichtig ist die Tatsache, dass sich zwischen den beiden gestrichelten Linien eine Differenz eingestellt hat, gekennzeichnet durch den senkrechten Pfeil, während bei den regulären Signalen – durchgehende Linie – im Nenndruckbereich aufgrund der Deckungsgleichheit zwischen beiden Signalen S1, S2 eine Differenz von Null bzw. nahezu Null ergibt. Aus **Fig. 3** wird deutlich, dass sich eine Differenz zwischen beiden Kurven, d. h. zwischen den verstärkten und damit korrigierten Spannungswerten der beiden Messbrücken **13**, **14** nur ergibt, wenn der an der Membran **2** anliegende Druck den Nenndruckbereich verlassen und die Membran **2** dadurch eine plastische Verformung erfahren hat. Grundbedingung ist zwar lediglich die Parallelität der beiden Signale, um die Differenz zwischen beiden Signalen konstant zu halten und damit Abweichungen

leicht zu erkennen, doch stellt die Deckungsgleichheit beider Signale – als Sonderform der Parallelität – die bevorzugte Ausführungsform dar, insbesondere weil die Differenz beider Signale S1, S2 somit Null und leicht zu verarbeiten ist und die Spannungswerte beider Messbrücken **13**, **14** üblicherweise Null sind, wenn kein Druck anliegt.

[0040] Eine plastische Verformung der Membran **2** kann somit allein durch das Feststellen einer Differenz zwischen den beiden Spannungssignalen S1, S2 erkannt werden, ohne dass eine betragsmäßige Überprüfung hinsichtlich der Plausibilität, wie bei herkömmlichen Redundanzsystemen, erforderlich ist. Wie dies im Einzelnen erfolgt, wird insbesondere im Zusammenhang mit der Beschreibung von **Fig. 6** erläutert.

[0041] **Fig. 4** stellte eine Draufsicht auf eine Druckmesszelle **1** dar, von der die Erfindung ausgeht. Nur zur Verdeutlichung sind mit gestrichelten Kreisen die vier Bereiche **1a**, **1b**, **1c**, **1d** gekennzeichnet. In natura sind diese Kreise nicht zu sehen. Zu erkennen sind die insgesamt acht Messelemente **3**, **4**, wobei sich die vier mittigen Messelemente **3** im inneren Bereich **1a** und zweitinnersten Bereich **1b** befinden, die beiden Messelemente **4a** und Messelemente **4b** im äußersten Bereich **1d** bzw. zweitäußersten Bereich **1c**. Nicht weiter dargestellt ist die bereits erwähnte Möglichkeit, die Membran lediglich in drei konzentrische Bereiche aufzuteilen. In diesem Fall werden der zweitäußerste Bereich **1c** mit dem zweitinnersten Bereich **1b** der Vier-Bereichs-Variante vereinigt, so dass die jeweiligen Widerstände bspw. nebeneinander platziert im selben Bereich angeordnet sind. Dabei wird ausgenutzt, dass sich eine plastische Verformung von innen nach außen ausbreitet und somit die Widerstände im innersten Bereich **1a** immer einen Vorsprung erhalten gegenüber den Widerständen in den äußeren Bereichen **1b**, **1c**, **1d**.

[0042] Für die Messelemente **3**, **4** kommt grundsätzlich die Verwendung von Dehnungsmessstreifen oder Widerstandspaste oder Piezoelementen infrage. Dehnungsmessstreifen und Piezoelemente sind hinlänglich bekannt und bedürfen an dieser Stelle keiner weiteren Ausführung. Piezoelemente arbeiten piezo-elektrisch und Widerstandspaste auf Basis eines piezo-resistiven Effekts. Die Widerstandspaste weist ein Bindemittel mit einem leitfähigen Pulver auf, dessen Konzentration ein Maß für den spezifischen Widerstand ist. Je nach Anwendungsfall erfolgt eine Auswahl der einzusetzenden Messelemente aufgrund der unterschiedlichen Eigenschaften dieser Alternativen, bspw. hinsichtlich Überlast- und Berstdruck-Festigkeit, Nenndruckbandbreite, Genauigkeit, Bauformgröße, Gewicht sowie Signalhub und nicht zuletzt auch die zu erwartenden Kosten.

[0043] Die zwei mittigen Messelemente **3** im inneren Bereich **1a** sind so angeordnet, dass sie aufgrund des geringsten Abstands zur Mitte der Messzelle **1** beim Anliegen eines Drucks eine Dehnung erfahren, weil die Membran **2** dem Druck durch Verformung nach oben nachgibt. Die Dehnung hat zur Folge, dass sich dann der Widerstandswert dieser Messelemente **3** im innersten Bereich **1a** erhöht. Die anderen beiden Messelemente **3** der Widerstandsmessbrücke im zweitinnersten Bereich **1b** sind so angeordnet, dass sie beim Anliegen eines Drucks gestaucht werden, was zur Folge hat, dass sich ihre Widerstandswerte verringern würden. Durch die gegenläufige Widerstandsänderung lässt sich mit Hilfe einer Widerstandsmessbrücke, beispielsweise als Wheatstonesche Messbrücke, ein deutliches Nutzsignal in Form einer elektrischen Differenz-Spannung erzeugen, das in einer hier nicht dargestellten Auswerteeinheit als Maß für den anliegenden Druck weiter verarbeitet wird. Diese Ausführung kommt bevorzugt zum Einsatz, wenn die Membran **2** in den inneren beiden Bereichen **1a**, **1b** dünner ausgeführt ist. Dadurch wird die Membran **2** beim Druckeinfluss an dieser Stelle besonders verformt.

[0044] Aus den Widerständen **4**, **4a**, **4b** der äußeren beiden Bereiche **1c**, **1d**, die ebenfalls als Messbrücke verschaltet sind, lässt sich ein wesentlich überdruckunempfindlicheres Signal erzeugen, das zwar nicht so genau ist wie jenes der Messbrücke aus den Widerständen **3**, aber ausreichend genau ist, um über Vergleich der beiden Messbrücken-Signale eine Offset-Spannung zu detektieren. Näheres dazu wird nachfolgend im Zusammenhang mit der Beschreibung von **Fig. 6** ausgeführt.

[0045] Als weitere, hier nicht gezeigte Ausführungsform können die den ersten elektromechanischen Wandler bildenden Messelemente **3** auch auf den innersten Bereich **1a** und den zweitäußersten Bereich **1c** angeordnet sein. Dementsprechend befinden sich die anderen Messelemente **4a**, **4b** im zweitinnersten Bereich **1b** und äußersten Bereich **1d**. Diese Ausführung kommt bevorzugt zum Einsatz, wenn die Membran **2** in den inneren beiden Bereichen **1a**, **1b** nicht dünner ausgeführt ist, sondern die gleiche Dicke aufweist, wie im Bereich **1c**. In diesem Fall würde ebenfalls der Bereich **1a** eine Dehnung erfahren, aber nunmehr die Stauchung im Bereich **1c** erfolgen. Der Bereich **1b** hingegen erfährt im Wesentlichen eine Streckung in Längsrichtung, d. h. keine Durchbiegung, da sich in diesem Bereich der Wendepunkt zwischen der konvexen und konkaven Verformung der Membran **2** befindet. Die Streckung eines Messelements bedeutet ebenfalls eine Erhöhung seines Widerstandswerts. Der äußerste Bereich **1d** erfährt dabei eine geringe Stauchung, so dass eine ebenfalls gegenläufige Widerstandsänderung der Messelemente **4** in den beiden Bereichen **1b**, **1d** realisiert ist. Als dritte, hier ebenfalls nicht gezeigte Möglichkeit bietet sich grund-

sätzlich auch an, die Messelemente **3** auf den innersten Bereich **1a** und den äußersten Bereich **1d** zu verteilen und die Messelemente **4** in den Bereichen **1b**, **1c** anzuordnen. Der Messsignalunterschied ist dann aber wesentlich undeutlicher, so dass diese Ausführungsform weniger diagnosefähig ist.

[0046] Deutlicher wird die Funktionsweise der Druckmesszelle **1** durch das seitliche Schnittbild aus **Fig. 5**. Deutlich zu erkennen ist der Profilverlauf der Membran **2** bzw. der Druckmesszelle **1**. Im Wesentlichen kann sie in vier Bereiche **1a**, **1b**, **1c**, **1d** unterteilt werden, wobei die sich mittig befindlichen Bereiche **1a**, **1b** – auch als Nutzbereich bezeichnet – die geringste Dicke aufweist und die dort angeordneten Widerstände **3** die „eigentliche“ Messbrücke bilden. Beim Anliegen eines Druckes wird dieser Teil der Membran **2** nach oben angehoben, so dass die zwei näher zur Mitte der Messzelle **1** angeordneten Messelemente **3** eine Dehnung und die zwei im Bereich **1b** befindlichen Messelemente **3** eine Stauchung erfahren. Mit Hilfe einer Widerstandsmessbrücke, zu der die vier Messelemente verschaltet sind, kann somit ein zum anliegenden Druck korrespondierendes Messsignal erzeugt werden.

[0047] Konzentrisch zu dem inneren Bereich **1a** befindet sich ein Knickbereich **1c** als Übergang zwischen dem starren, nur unwesentlich verformbaren Bereich **1d** und dem Nutzbereich. In dem äußeren Bereich **1d** der Membran **2** bzw. der Messzelle **1** ist die Dicke der Messzelle so groß, dass ein anliegender Druck nur geringen Einfluss auf eine Veränderung der Membranoberfläche hat. Das sich in diesem Bereich **1d** befindliche Widerstandselement **4a** ist somit nur gering vom Druck abhängig und hat daher beim Anliegen eines Drucks auch nur eine geringe Widerstandsänderung. Sollte nun der Fall eintreten, dass bspw. durch eine Überdruckspitze oder auch während statischem Überdruck der Nutzbereich **1a** plastisch verformt ist, würden die Messelemente **3** ein dauerhaftes Messsignal bzw. eine um eine Offset-Spannung erhöhte Messsignal erzeugen. Dieses Messsignal stimmt nun nicht mehr mit dem tatsächlich anliegenden Druck überein. Abhängig davon, wie groß die Überdruckspitze war, beschränkt sich die plastische Verformung nur auf den Nutzbereich oder erstreckt sich sogar auf die äußeren beiden Bereiche **1c**, **1d**. In jedem Fall ist aber der Grad der plastischen Verformung zwischen den inneren Bereichen **1a**, **1b** und den äußeren Bereichen **1c**, **1d** verschieden und unterscheidet sich insbesondere auch bezüglich des Verhaltens bei elastischer Verformung.

[0048] Dargestellt ist in **Fig. 6** schematisch, in Form eines Blockschaltbildes, ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel eines derartigen Druckmesszelle **1** aufweisenden Druckmessgeräts mit drei Anschlüssen **10**, **11**, **12**. Zu dem dargestellten Druckmessge-

rät gehören zunächst eine Widerstandsmessbrücke **13** als Messwertaufnehmer mit den hier nicht näher bezeichneten Widerstandselementen **3**, eine parallel dazu angeordnete zweite Widerstandsmessbrücke **14** mit den hier nicht näher bezeichneten Widerstandselementen **4a** und **4b**. In der Messbrücke **14** sind zwei Widerstände als konstant dargestellt, was lediglich ein Ausführungsbeispiel ist. Gemeint sind hierbei die sich im äußersten Rand **1d** befindlichen Messelemente **4a**, die konstant oder nur gering variierend sind, da die Verformung dieses Bereichs **1d** nicht sehr groß ist.

[0049] Den beiden Widerstandsmessbrücken **13**, **14** nachgeschaltet befindet sich jeweils eine Verstärkereinheit **15** und **16**, die ihre Ausgangssignale an einen nachgeschalteten Komparator **17**, vorzugsweise Fensterkomparator, weitergeben. Der Komparator **17** gibt sein Ausgangssignal an einen Stromregler **19** weiter, der außerdem das Messsignal der Widerstandsmessbrücke **13** aus der Verstärkereinheit **15** empfängt. Der Komparator **17** stellt hier nur eine bevorzugte Ausführungsform dar. Durch den gestrichelten Kasten soll eine allgemeine Vergleichereinheit gekennzeichnet sein, da die dargestellte Vergleichereinheit – und damit die Verstärkereinheiten **15**, **16** sowie der Komparator **17** – auch durch einen Mikrocontroller ersetzt werden kann. Auch können die Analogsignale aus den beiden Verstärkern **15**, **16** auch direkt einer Steuereinheit, z. B. einer Speicherprogrammierbare Steuerung – SPS – zugeführt werden. Die möglichen Ausführungsformen sind nicht auf das in **Fig. 6** gezeigte Ausführungsbeispiel beschränkt, sondern können insbesondere hinsichtlich der Vergleichsfunktion auch anders ausgeführt werden.

[0050] Wie die **Fig. 6** zeigt, ist bei dem dargestellten bevorzugten Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Druckmessgeräts eingangsseitig die Versorgungsspannung der Widerstandsmessbrücken **13**, **14**, der Verstärkereinheiten **15**, **16** und des Komparators **17** regelnder und begrenzender Längsregler **18** vorgesehen. Wenn die Versorgungsspannung bereits geregelt zugeführt wird, kann auf den Spannungsregler **18** bei der hier dargestellte 3-Leiter-Ausführung auch verzichtet werden.

[0051] Der Stromregler **19** liefert im Normalfall einen Strom von 4...20 mA. Wenn der Stromregler **19** über den Komparator **17** einen Fehlerfall gemeldet bekommt, gibt er über den Anschluss **11** einen Stromwert aus, der wahlweise zwischen 0 und 3,5 mA oder größer als 20,5 mA entspricht. Dies wird dann von einer nachgeschalteten, hier nicht näher dargestellten Auswerteeinheit als Fehlerfall erkannt und entsprechende Maßnahmen eingeleitet. Diese Maßnahmen können je nach Sicherheitsstufe der betriebenen Anlage beispielsweise die Ausgabe einer entsprechenden visuellen und/oder akustischen Warn-

meldung oder aber auch das Überführen der gesamten Anlage in den sicheren, d. h. stromlosen Zustand sein. Weitere Maßnahmen sind denkbar, so dass diese Aufzählung nicht beschränkend wirken soll.

[0052] Das beschriebene Druckmessgerät lässt sich selbstverständlich auch in 2-Leiter-Ausführung aufbauen. In diesem Fall entfällt der Anschluss **11**, ansonsten ist der grundsätzliche Aufbau identisch. Zwingend erforderlich ist in diesem Fall der Spannungsregler **18**. Darüber hinaus müsste der Stromregler **19** anders aufgebaut sein, da eine Reduzierung des Stromwertes auf 0 mA nicht zulässig ist. Vorzugsweise gibt der Stromregler **19** im Fehlerfall dann ein Stromsignal von $\leq 3,5$ mA oder $\geq 20,5$ mA weiter. Stromwerte in diesen Bereichen, d. h. außerhalb des zulässigen Bereichs von 4...20 mA, werden von der nachgeschalteten, hier nicht dargestellten Auswerteeinheit als Fehler interpretiert.

[0053] Alternativ zu der in den **Fig. 4** bis **Fig. 6** dargestellten Ausführungsform mit jeweils zwei Widerstandselementen **4a**, **4b** in den äußeren Bereichen **1b**, **1c** kann die Anzahl der Widerstandselemente auch auf jeweils eins reduziert werden. In diesem Fall würde das eine Widerstandselement **4a** und das eine Widerstandselement **4b** einen Spannungsteiler bilden. Allerdings ist im Gegensatz zu der beschriebenen Ausführungsform mit jeweils zwei Widerstandselementen der Signalhub des Referenzsignals um die Hälfte geringer. Fehlerfälle, mit nur geringem Signalunterschied ließen sich dann schlechter erkennen.

[0054] In **Fig. 7** ist ein Diagramm abgebildet, das den Signalverlauf einer 100 bar-Druckmesszelle vom ersten Ausgangssignal S1 und dem zweiten Ausgangssignal S2 über dem Druck darstellt. 100 bar-Druckmesszelle bedeutet, dass der Nenndruckbereich von 0 bis 100 bar geht, womit bei 100 bar genau 100% des Messbereichs – „Full Scale“ bzw. „FS“ – erreicht sind. Zwischen 100% und 300% liegt der sog. Überlastbereich und darüber dann der plastische Bereich, in dem es zu Verformungen der Membran **2** kommt. Insbesondere der Übergang vom Überlastbereich zum plastischen Bereich lässt sich deutlich aus dem Diagramm entnehmen. Bis 300 bar, was nahezu 300% FS entspricht, stiegen die beiden Signale S1, S2 im gleichen Maß an. Die Differenz zwischen den beiden Signalen S1, S2 ist im Wesentlichen Null bzw. fällt unter die Toleranz. Ab 300 bar erfährt die Membran **2** eine plastische Verformung, was mit steigendem Druck zu einer immer größer werdenden Differenz zwischen S1 und S2 führt.

[0055] Dargestellt in **Fig. 7** ist der Verlauf der beiden Signale S1, S2 von 0 bar bis zu einem willkürlich festgelegten Maximaldruck von 500 bar, wobei die Messzelle nach jedem Druckwert wieder auf 0 bar zurückgesetzt wird. Deutlich zu sehen ist, wie sich ab einem Druckwert von 300 bar bei 0 bar ein stetig steigender

Offset-Betrag einstellt. Bei einem maximalen Druck von 500 bar würde man bei tatsächlich anliegenden 0 bar trotzdem ein Druck von etwa 100 bar messen, allein hervorgerufen durch die dauerhafte Verformung der Membran **2**. Beispielhaft ist auf der rechten Seite des Diagramms in **Fig. 7** auch noch gezeigt, welchen Betrag die Messung eines tatsächlich anliegenden Druckwerts von 100 bar liefern würde, wenn zuvor eine Druckspitze von 500 bar vorgelegen hat. Der Offset-Betrag fungiert wie ein Schleppezeiger für die maximal in der Vergangenheit aufgetretene Druckspitze; das Verfahren ist somit reproduzierbar wiederholbar. Nach einer Überlastsituation ist somit jederzeit eine Schadensanalyse möglich.

[0056] Zu erkennen ist des Weiteren das Verhältnis zwischen dem zu bestimmenden Offset-Betrag und dem ermittelten Differenzbetrag zwischen dem ersten Ausgangssignal S1 und dem zweiten Ausgangssignal S2 einer gewissen Monotonie unterliegt. Im Ergebnis kann alternativ zur Verwendung einer Messwerttabelle der Offset-Betrag also auch so bestimmt werden, indem der Differenzbetrag zwischen dem ersten Ausgangssignal S1 und dem zweiten Ausgangssignal S2 mit einem festen Faktor multipliziert wird. Im vorliegenden Fall liegt der Faktor bei etwa 2, d. h. der Offset-Betrag ist betragsmäßig näherungsweise doppelt so groß wie die Differenz Differenzbetrag zwischen dem ersten Ausgangssignal S1 und dem zweiten Ausgangssignal S2.

[0057] In **Fig. 8** ist der Verlauf der Differenz zwischen den beiden Signalen S1, S2 aus der in **Fig. 7** bekannten Messreihe abgebildet. Deutlich zu erkennen ist der nahezu lineare Verlauf.

[0058] Im Folgenden die Erfindung in der Zusammenschau von **Fig. 7** und **Fig. 8** beschrieben werden. Wie bereits beschrieben, ist auf den rechten Seiten der Diagramme gezeigt, welchen Betrag die Messung eines tatsächlich anliegenden Druckwerts von 100 bar liefern würde bzw. welche Signaldifferenz sich einstellen würde, wenn zuvor eine Druckspitze von 500 bar vorgelegen hat. Bei tatsächlich anliegenden 100 bar wurden fast 200% FS gemessen, was einem Druckwert von 200 bar entspricht. Mit Hilfe der vorliegenden Erfindung ist es nun möglich, von den gemessenen 200% FS auf die realen 100% zurückzurechnen. Dafür ist es zunächst erforderlich, dass zum einen der Verlauf der Differenz zwischen den beiden Signalen S1, S2 und zum anderen der dazugehörige Differenzbetrag bei 0 bar in einer Messwerttabelle abgespeichert ist. Diese Daten sind abhängig von der Gestaltung der Druckmesszelle (Materialzusammensetzung, Profil etc.) und werden typischerweise werkseitig in der Messwerttabelle abgelegt. Der Differenzbetrag bei 0 bar entspricht dann dem jeweiligen Offset-Betrag. Vorteilhaft ist dabei, dass sowohl der Verlauf der Signaldifferenz also auch des dazugehörigen Wertes bei 0 bar, wie aus

Fig. 8 zu entnehmen, nahezu linear ist. Somit wäre auch eine rechnerische Ermittlung der Differenzwerte möglich. Mit Hilfe der Messwerttabelle lässt sich somit einem messtechnisch feststellbaren Differenzbetrag zwischen S1 und S2 – als Maß für die vorgelegene Überlastsituation – ein dazugehöriger Offset-Betrag zuordnen. Und genau um diesen Offset-Betrag werden die Messergebnisse nach einer Überlastsituation verfälscht. Im Ergebnis ist es nun nur noch nötig, den ermittelten Offset-Betrag von dem gemessenen Druckwert abzuziehen. Anhand des Beispiels aus den **Fig. 7** und **Fig. 8** würde die Messzelle **1** nach einer 500 bar-Druckspitze bei einem tatsächlich anliegenden Druck von 100 bar einen Messwert von 200% FS ausgeben. Aufgrund der sich ergebenden Differenz zwischen S1 und S2 kann zum einen die plastische Verformung der Membran **2** festgestellt werden und zum anderen aus der Messwerttabelle gem. **Fig. 7** der zugehörige Offset-Betrag von annähernd 100% FS ermittelt werden. Diese 100% FS werden nun von den gemessenen 200% FS abgezogen, so dass der „richtige“ Wert von 100% FS ermittelt wird, der den tatsächlich anliegenden 100 bar entspricht.

[0059] Der Anwender erhält somit näherungsweise zum einen eine Aussage darüber, wie groß die Druckspitze bzw. die Überlastsituation gewesen ist und zum anderen wie groß der tatsächlich anliegende Druck ist, auch wenn die Messzelle einen höheren Messwert ausgibt. Abhängig von den Sicherheitsbestimmungen und den Umgebungsbedingungen, in denen die Anlage betrieben wird, kann situativ oder im Vorfeld ein Szenario erstellt werden, ob und mit welchem Risiko verbunden die Anlage in einen Notbetrieb oder sicheren Zustand überführt werden kann. Darüber hinaus ist das Verfahren reproduzierbar wiederholbar, d. h. der Offset-Betrag fungiert wie ein Schleppezeiger für die maximal in der Vergangenheit aufgetretene Druckspitze. Dieser Wert könnte auf einfache Weise gespeichert werden, so dass nach einer Überlastsituation jederzeit eine Schadensanalyse möglich ist. Um die genauen Umstände zu erforschen, die zu der Überlastsituation geführt haben, ist von zentraler Bedeutung, wie groß die Druckspitze tatsächlich war. Dafür liefert das erfindungsgemäße Verfahren einen wesentlichen Beitrag.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Korrektur von Messwerten einer Druckmesszelle, deren Membran durch eine erhöhte Druckbelastung eine plastische Verformung erfahren hat, auf den tatsächlich an der Druckmesszelle anliegenden Druck eines angrenzenden Mediums, wobei die Druckmesszelle eine elastische Membran (**2**) aufweist, auf der ein erster elektromechanischer Wandler (**13**) angeordnet ist, der ein erstes druckabhängiges Ausgangssignal (S1) liefert, und ein zweiter elektromechanischer Wandler (**14**) angeordnet ist, der ein

zweites druckabhängiges Ausgangssignal (S2) liefert, und beide Wandler (**13**, **14**) so angeordnet sind, dass die Ausgangssignale (S1, S2) bei einer elastischen reversiblen Verformung der Membran (**2**) eine erste Druckcharakteristik aufweisen und nach einer irreversiblen Verformung der Membran (**2**) durch eine erhöhte Druckbelastung eine signifikant unterschiedliche zweite Druckcharakteristik aufweisen, gekennzeichnet durch folgende Verfahrensschritte:

- Ermitteln der Differenz zwischen dem ersten Ausgangssignal (S1) und dem zweiten Ausgangssignal (S2),
- Feststellen, ob die erste oder zweite Druckcharakteristik vorliegt aufgrund der ermittelten Differenz,
- im Falle der ersten Druckcharakteristik Ausgabe des ersten Ausgangssignals (S1) an eine Auswerte- und/oder Steuereinheit zur weiteren Verarbeitung,
- im Falle der zweiten Druckcharakteristik Korrektur des ersten Ausgangssignals (S1) um einen Differenzbetrag in Abhängigkeit von der vorgelegenen Überlastsituation und Ausgabe dieses korrigierten ersten Ausgangssignals an eine Auswerte- und/oder Steuereinheit zur weiteren Verarbeitung.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das korrigierte erste Ausgangssignal durch Reduzierung des ersten Ausgangssignals (S1) um einen bestimmten Offset-Betrag erzeugt wird, wobei der Offset-Betrag gemäß der vorgelegenen Überlastsituation ermittelt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass vor der Ermittlung der Differenz zwischen dem ersten Ausgangssignal (S1) und dem zweiten Ausgangssignal (S2) die im Nennbereich nahezu linearen Kennlinien beider Ausgangssignale (S1, S2) derart verändert werden, dass sie einen gleichmäßigen Abstand zueinander aufweisen oder deckungsgleich sind, wobei kleinere Abweichungen von der Deckungsgleichheit unter die Toleranz fallen.

4. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass bei der zweiten Druckcharakteristik die Differenz zwischen dem ersten Ausgangssignal (S1) und dem zweiten Ausgangssignal (S2) einen vorgegebenen Grenzwert überschreitet.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass in einer Speichereinheit eine Messwerttabelle hinterlegt ist, die den Verlauf des sich außerhalb des Nennbereichs der Druckmesszelle ergebenden Differenzbetrages zwischen dem ersten Ausgangssignal (S1) und dem zweiten Ausgangssignal (S2) über dem Druck abbildet.

6. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass zur Bestimmung des Offset-Betrags der ermittelte Differenzbetrag zwischen dem ersten

Ausgangssignal (S1) und dem zweiten Ausgangssignal (S2) mit der hinterlegten Messwerttabelle abgeglichen wird und dabei ein dem ermittelten Differenzbetrag am nächsten kommender Wert aus der Messwerttabelle zugeordnet wird.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass zur Bestimmung des Offset-Betrags der ermittelte Differenzbetrag zwischen dem ersten Ausgangssignal (S1) und dem zweiten Ausgangssignal (S2) mit einem festen Faktor multipliziert wird.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass, falls die zweite Druckcharakteristik vorliegt, die Auswerte- und/oder Steuereinheit einen optischen und/oder akustischen Warnhinweis ausgibt.

9. Verfahren nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Qualität und/oder die Quantität des Warnhinweises abhängig von der vorgelegenen Überlastsituation ist.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass der ermittelte Offset-Betrag als Schleppzeiger für die maximal in der Vergangenheit aufgetretene Überlastsituation dient.

Es folgen 6 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

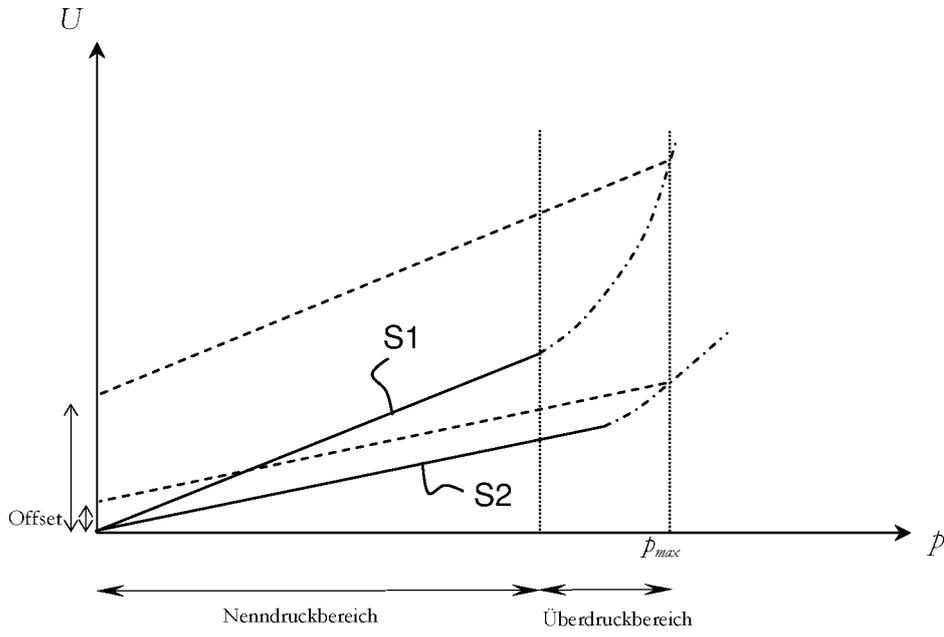


Fig. 1

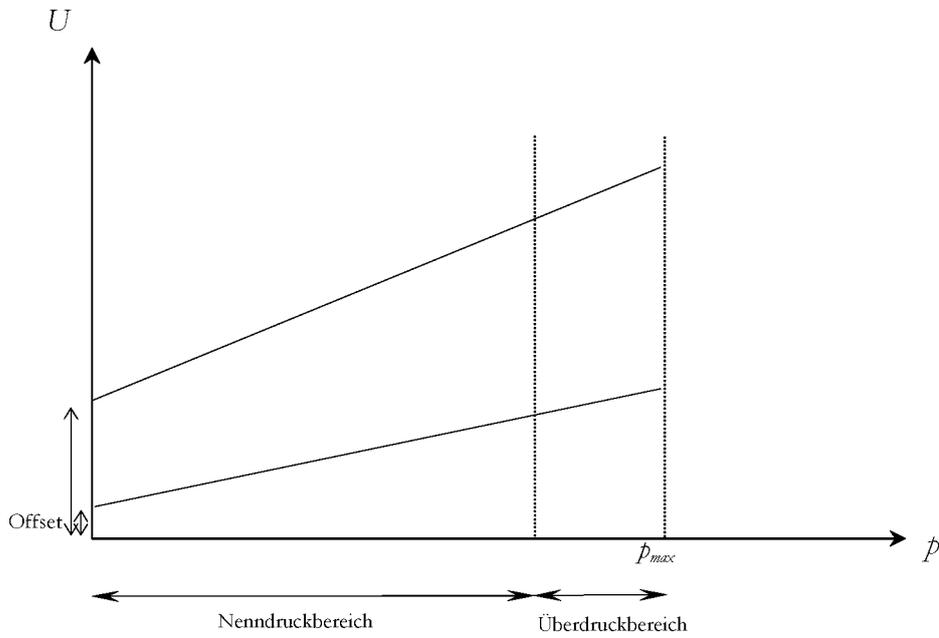


Fig. 2

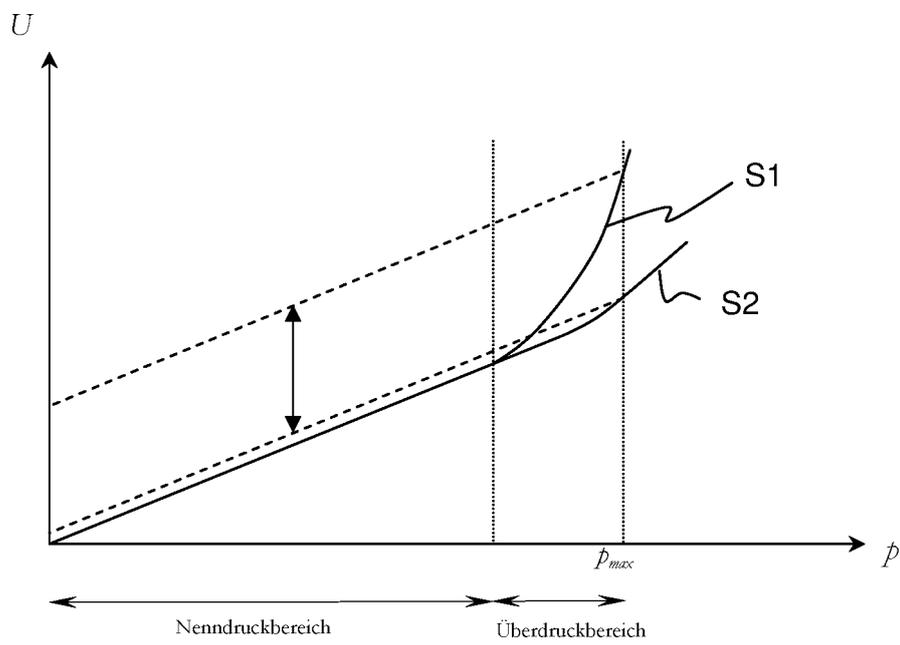


Fig. 3

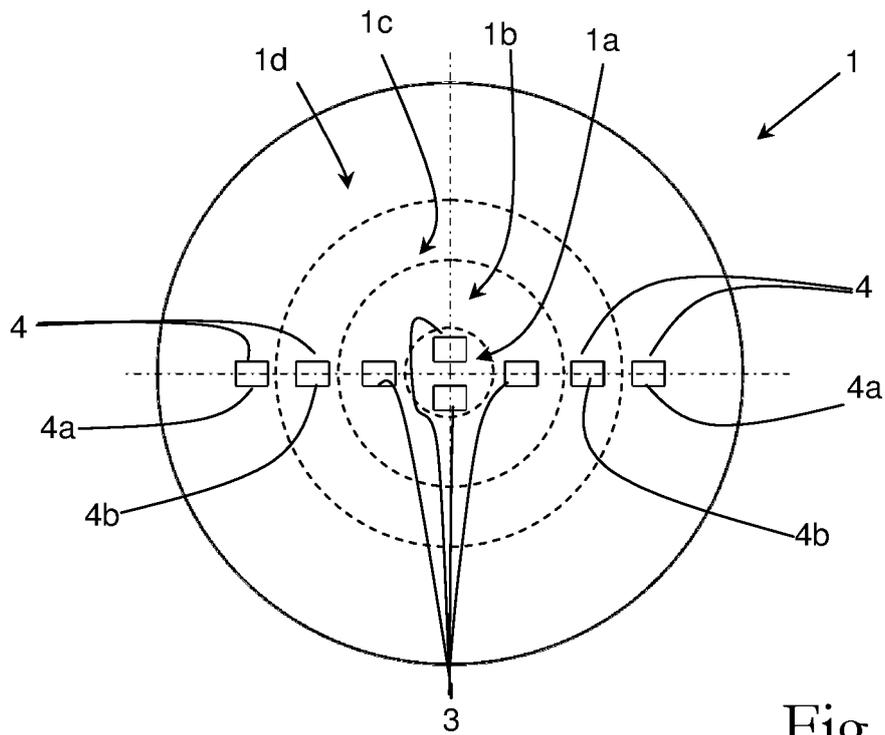


Fig. 4

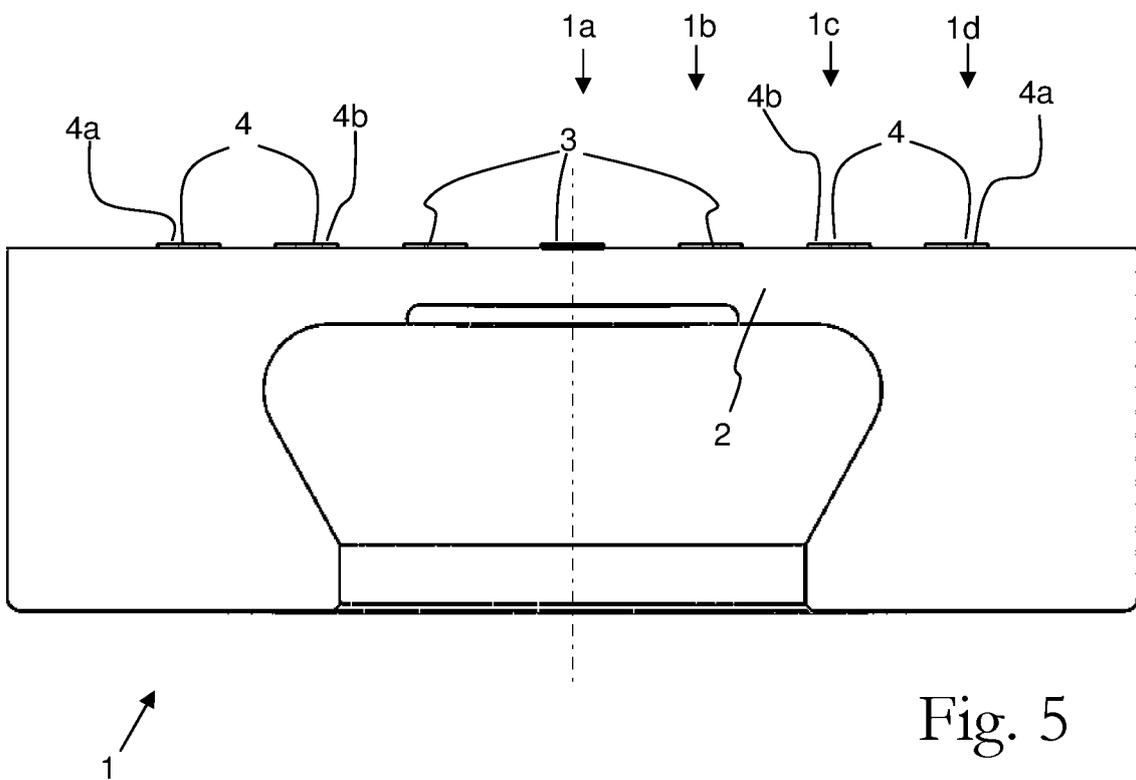


Fig. 5

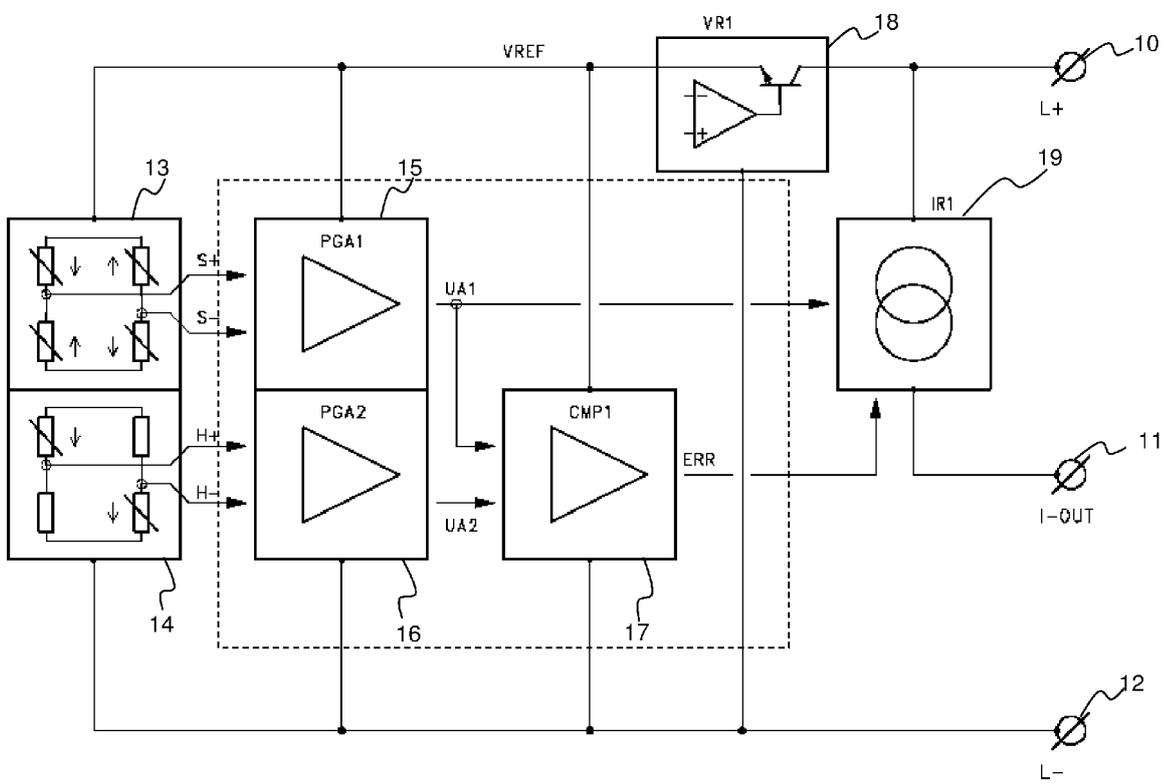


Fig. 6

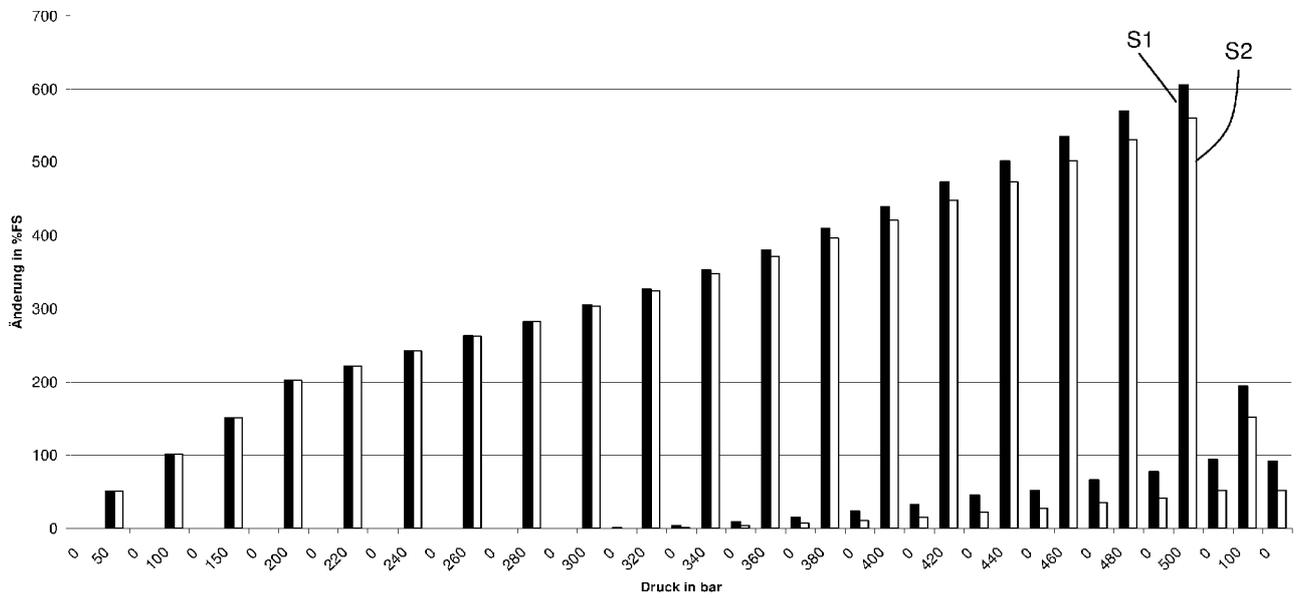


Fig. 7

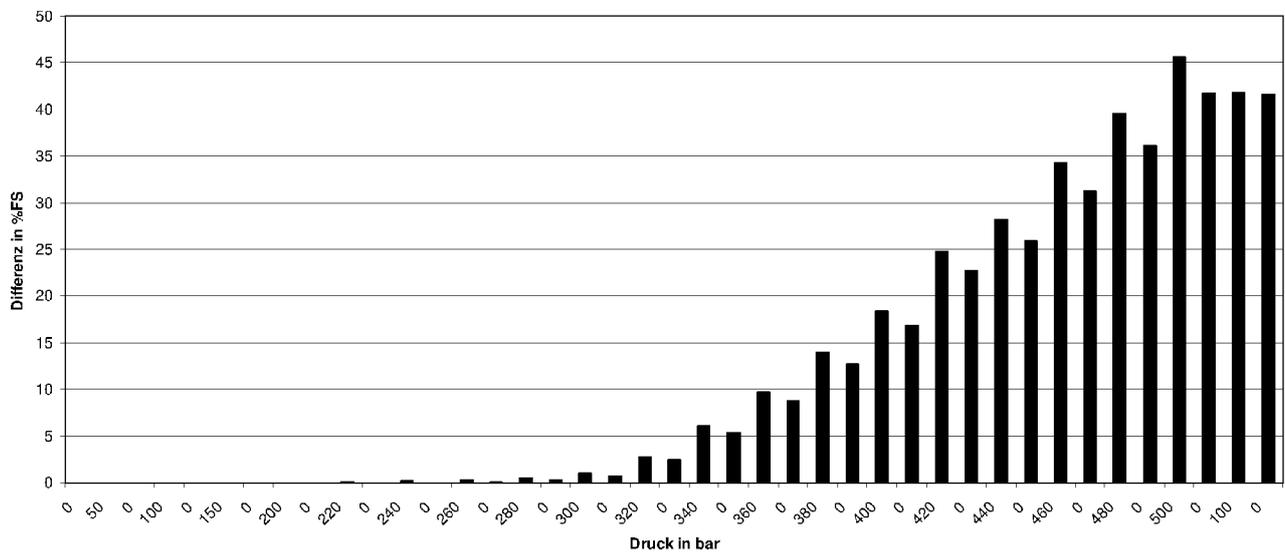


Fig. 8