



21 Aktenzeichen: 197 14 168.4
22 Anmeldetag: 7. 4. 97
43 Offenlegungstag: 8. 10. 98

71 Anmelder:
Forschungszentrum Rossendorf eV, 01474
Schönfeld-Weißig, DE

72 Erfinder:
Prasser, Horst-Michael, 01324 Dresden, DE;
Schneider, Carola, Dr., 01324 Dresden, DE;

56 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
zu ziehende Druckschriften:

DE 30 46 933 C2
DE 32 15 238 A1
DE 30 39 210 A1

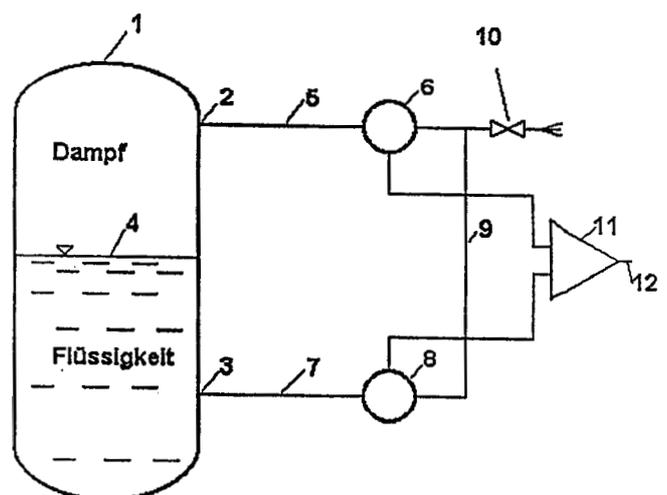
Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

54 Anordnung zur hydrostatischen Füllstandsmessung in einem Druckbehälter

57 Die Erfindung betrifft eine Anordnung zur hydrostatischen Füllstandsmessung in Druckbehältern unterschiedlicher Größe, die mit einer Flüssigkeit gefüllt sind, über der sich ein Gas befindet.

Aufgabe der Erfindung ist es, eine Anordnung zur Messung der Druckdifferenz zwischen den beiden Anschlußstutzen am Behälter vorzuschlagen, durch die auch bei nicht konstantem Druck im Behälter eine exakte Berechnung des Füllstandes im Behälter vorgenommen werden kann. Dabei soll das Ausdampfen von Flüssigkeit vermieden werden oder nur dort stattfinden können, wo es keine Auswirkungen auf das Meßergebnis hat.

Erfindungsgemäß wird die Aufgabe dadurch gelöst, daß sowohl der obere als auch der untere Anschlußstutzen des Behälters mit einem der Eingänge von je einem Differenzdruckumformer verbunden sind. Die Verbindungsleitungen zwischen den Anschlußstutzen und den Differenzdruckumformern sollen horizontal verlegt sein. Die beiden anderen Eingänge der Differenzdruckumformer sind miteinander verbunden, die hierfür verwendete Verbindungsleitung ist mit einem Medium stets bekannter Dichte gefüllt. Die Verbindungsleitung überbrückt die Höhendifferenz zwischen den beiden Anschlußstutzen am Behälter. Die Meßsignalausgänge der beiden Differenzdruckumformer sind mit einer Schaltung zur Differenzbildung verbunden, die sowohl analog als auch digital ausgeführt sein kann. Das Ausgangssignal der Schaltung ist ein Maß für die Höhe des Füllstands.



Die Erfindung betrifft eine Anordnung zur hydrostatischen Füllstandsmessung in Druckbehältern unterschiedlicher Größe, die mit einer Flüssigkeit gefüllt sind, über der sich ein Gas befindet.

Das hydrostatische Verfahren ist seit langem das klassische Standardverfahren für die Füllstandsmessung in Behältern, die teilweise mit Flüssigkeit gefüllt sind. Es hat breite Anwendung in der thermischen und chemischen Verfahrenstechnik gefunden. Die Methode beruht darauf, daß die Druckdifferenz zwischen zwei Anschlußstutzen, die am Behälter angebracht sind, gemessen wird und unter Zugrundelegung der bekannten Dichten von Flüssigkeit und Gas der Füllstand berechnet wird (Profos, Pfeifer: Handbuch der industriellen Meßtechnik, 6. Auflage, Oldenburg-Verlag München/Wien, 1994).

Wenn die Messung an Behältern durchzuführen ist, die unter Druck stehen, wird es erforderlich, einen sogenannten Differenzdruckumformer einzusetzen, bei dem die an den beiden Eingängen anstehenden Drücke auf ein und dieselbe Meßmembran wirken und die Druckdifferenz mit hoher Genauigkeit direkt gemessen wird. Der Systemdruck im Behälter hat dabei keinen Einfluß auf das Meßergebnis.

Da sich die Anschlußstutzen am Behälter auf unterschiedlichen Höhen befinden müssen, ist es nicht möglich, beide Meßleitungen vom Behälter zum Differenzdruckumformer nur horizontal zu verlegen. Es müssen vertikale Abschnitte vorgesehen werden, mindestens um den Höhenunterschied zwischen den beiden Anschlußstutzen zu überwinden. Da sich in den Anschlußleitungen ebenfalls Meßmedium in gasförmiger oder flüssiger Form befinden kann, kommt es zu einer zusätzlichen Druckdifferenz, die bei der Ermittlung des Füllstands berücksichtigt werden muß. Der vom Differenzdruckumformer gemessene Wert ist eine Summe von Nutzsignal (Druckdifferenz zwischen den Anschlußstutzen) und der Druckdifferenzen innerhalb der Anschlußleitungen. Letztere müssen bekannt sein und vom Meßwert abgezogen werden.

Um sicherzustellen, daß die Druckdifferenzen in den Anschlußleitungen bekannt sind, wird der Füllstand in der Plusleitung des Differenzdruckumformers immer auf dem Niveau des oberen Anschlußstutzens gehalten bzw. es wird dafür gesorgt, daß er zumindest bekannt ist. Hierfür kommen sogenannte Pegelgefäße zum Einsatz. Das Pegelgefäß wird von einem seitlichen Stutzen aus über eine annähernd horizontal verlegten Leitung mit dem oberen Anschlußstutzen am Behälter verbunden. Am Boden des Pegelgefäßes wird die Anschlußleitung zum Differenzdruckgeber (Plusleitung) geführt (Profos, Pfeifer: Handbuch der industriellen Meßtechnik, 6. Auflage, Oldenburg-Verlag München/Wien, 1994).

Bei Behältern, in denen das Meßmedium im Siedezustand vorliegt, wird im Hinblick auf die Dichte in den Leitungen zum Differenzdruckumformer meist dafür gesorgt, daß die Leitungen ausreichend gekühlt werden, damit sie stets mit Kondensat gefüllt sind. Die Dichte in den Leitungen wird mit ausreichender Genauigkeit als Dichte des flüssigen Mediums bei Umgebungstemperatur angenommen.

Eine andere Methode besteht in der Anwendung von sogenannten Zweikammerpegelgefäßen, die gewährleisten, daß sich das Medium in der Verbindungsleitung möglichst genau auf Sättigungstemperatur befindet (Hampel, R., Prasser, H.-M., Fleischer, S.: Ausgewählte Probleme der Höhenstandsmeßtechnik für Druckbehälter in Kernkraftwerken mit WWER, Kernenergie 32 (1989) Heft 3, S.106–112). In diesem Fall weist das Medium in der Verbindungsleitung die Dichte im Sättigungszustand auf, die ebenfalls ausrei-

chend genau bekannt ist.

Ein Nachteil der beschriebenen bekannten Anordnungen besteht darin, daß der Zustand im Pegelgefäß und in den Verbindungsleitungen zum Differenzdruckumformer nur bei konstantem Druck im Behälter dem für die Berechnung des Füllstands angenommenen Wert entspricht. Besonders problematisch sind Prozesse, die mit einer Abnahme des Drucks verbunden sind. Hierbei kann es zum Ausgasen bzw. Ausdampfen eines Teils der Flüssigkeit im Pegelgefäß und in den Verbindungsleitung kommen, wenn der Druck den Sättigungswert unterschreitet oder wenn in der Flüssigkeit gelöste Gase vorliegen. Der Ausgasungs- bzw. Ausdampfprozeß ist mit einer starken Abnahme der Dichte durch Bildung eines Zweiphasengemischs verbunden, die nicht genau erfaßt oder berechnet werden kann. In der Regel findet die Gasbildung in der Plusleitung statt, wodurch der angezeigte Wert der Druckdifferenz abnimmt. Wenn zur Ermittlung des Füllstands für die Dichte in den Verbindungsleitungen weiterhin die Dichte der Flüssigkeit eingesetzt wird, wird ein Anstieg des Füllstands im Behälter ermittelt, der nicht der Tatsache entspricht (Hampel, R., Prasser, H.-M., Fleischer, S.: Ausgewählte Probleme der Höhenstandsmeßtechnik für Druckbehälter in Kernkraftwerken mit WWER, Kernenergie 32 (1989) Heft 3, S.106–112).

Ein weiterer Nachteil, der besonders dann von Bedeutung ist, wenn eine unzulässige Abnahme des Füllstands aus Sicherheitsgründen mit großer Zuverlässigkeit angezeigt werden soll (z.B. in der Kerntechnik), besteht darin, daß ein Leck, welches zum Leerlaufen der Plusleitung führt, ebenfalls einen scheinbaren Anstieg des Füllstands hervorruft. Ein derart beschädigtes Meßsystem ist dann nicht mehr in der Lage, einen tatsächlich vorliegenden Füllstandsabfall richtig wiederzugeben.

Aufgabe der Erfindung ist es, eine Anordnung zur Messung der Druckdifferenz zwischen den beiden Anschlußstutzen am Behälter vorzuschlagen, durch die auch bei nicht konstantem Druck im Behälter eine exakte Berechnung des Füllstandes im Behälter vorgenommen werden kann. Dabei soll das Ausdampfen von Flüssigkeit vermieden werden oder nur dort stattfinden können, wo es keine Auswirkungen auf das Meßergebnis hat.

Erfindungsgemäß wird die Aufgabe dadurch gelöst, daß sowohl der obere als auch der untere Anschlußstutzen des Behälters mit einem der Eingänge von je einem Differenzdruckumformer verbunden sind. Die Verbindungsleitungen zwischen den Anschlußstutzen und den Differenzdruckumformern sollen horizontal verlegt sein. Die beiden anderen Eingänge der Differenzdruckumformer sind miteinander verbunden, die hierfür verwendete Verbindungsleitung ist mit einem Medium stets bekannter Dichte gefüllt. Die Verbindungsleitung überbrückt die Höhendifferenz zwischen den beiden Anschlußstutzen am Behälter. Die Meßsignalausgänge der beiden Differenzdruckumformer sind mit einer Schaltung zur Differenzbildung verbunden, die sowohl analog als auch digital ausgeführt sein kann. Das Ausgangssignal der Schaltung ist ein Maß für die Höhe des Füllstands.

Eine vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung wird dadurch erreicht, daß die Verbindungsleitung zwischen den Differenzdruckumformern mit einem Gas gefüllt ist. In diesem Fall wird der Druckausgleich zwischen der Verbindungsleitung der Differenzdruckumformer und dem Behälter durch ein Druckausgleichsgefäß realisiert. Die Verbindungsleitung ist über eine Druckausgleichsleitung mit dem Kopfbereich des Druckausgleichsgefäßes verbunden. Der Bodenanschluß des Druckausgleichsgefäßes ist an den Teil des Druckbehälters angeschlossen, in dem sich Flüssigkeit befindet. Im Druckausgleichsgefäß stellt sich ein Flüssigkeitsspiegel ein.

Wenn die Verbindungsleitung zwischen den Differenzdruckumformern mit einer Flüssigkeit gefüllt ist, ist im Druckausgleichsgefäß eine elastische Membran zur Trennung von Meßmedium und Füllflüssigkeit anzuordnen.

Nachfolgend wird die Erfindung an einem Ausführungsbeispiel näher erläutert.

In der zugehörigen Zeichnung zeigen

Fig. 1 die erfindungsgemäße Anordnung in ihrer Grundausführung;

Fig. 2 die Anordnung nach **Fig. 1**, ergänzt um einen Druckausgleich über ein Druckausgleichsgefäß, wobei die Verbindungsleitungen mit Gas gefüllt sind;

Fig. 3 die Anordnung nach **Fig. 1**, ergänzt um einen Druckausgleich über ein Druckausgleichsgefäß, wenn die Verbindungsleitungen mit Flüssigkeit gefüllt sind.

In der Anordnung nach **Fig. 1** ist der Behälter **1** mit einem unter Druck stehenden Medium gefüllt, wobei ein Teil des Mediums in flüssiger Form, der übrige Teil in Gasform vorliegt. An dem Behälter **1** befinden sich ein oberer Anschlußstutzen **2** und ein unterer Anschlußstutzen **3**. Die Lage der Anschlußstutzen muß so gewählt sein, daß sich der zu bestimmende Füllstand **4** der Flüssigkeit innerhalb des Meßbereichs stets zwischen den beiden Anschlußstutzen **2** und **3** befindet. Der obere Anschlußstutzen ist über eine horizontal zu verlegende Leitung **5** mit einem der Eingänge eines Differenzdruckumformers **6** verbunden. Der untere Anschlußstutzen steht über die ebenfalls horizontal zu verlegende Leitung **7** mit einem der Eingänge eines weiteren Differenzdruckumformers **8** in Verbindung. Die exakt horizontale Verlegung der Leitungen **5, 7** ist die beste Lösung. Eine leicht geneigte Verlegung dieser Leitungen **5, 7** kann sich als notwendig erweisen, um die Differenzdruckumformer **6, 8** vor dem Eindringen von Dampf zu schützen. In diesem Fall muß die dabei auftretende Höhendifferenz in einer Fehlerberechnung berücksichtigt werden. Die beiden anderen Eingänge der Differenzdruckumformer **6, 8** werden durch eine Verbindungsleitung **9** zusammengeschaltet. Während die Leitungen **5** und **7** horizontal zu verlegen sind, überbrückt die Verbindungsleitung **9** den Höhenunterschied zwischen den beiden Anschlußstutzen **2** und **3** und entsprechend den Höhenunterschied zwischen den Differenzdruckumformern **6** und **8**, die sich wegen der horizontalen Verlegung der Leitungen **5, 7** auf den Höhenpositionen der entsprechenden Anschlußstutzen **2** bzw. **3** befinden. Die Verbindungsleitung **9** muß mit einem Füllmedium von stets bekannter Dichte gefüllt sein. Dies geschieht über das Füllventil **10**. Durch Zuspäsen bzw. Ablassen von Füllmedium über das Füllventil **10** wird in der Verbindungsleitung **9** ein Druck eingestellt, der dem Systemdruck im Behälter **1** nahekommt. Der Druck in der Verbindungsleitung **9** muß nicht exakt dem Druck im Behälter **1** entsprechen. Es muß jedoch stets gewährleistet sein, daß der Meßbereich bei keinem der beiden Differenzdruckumformer **6, 8** überschritten wird. Die Signalausgänge der Differenzdruckumformer **6** und **8** werden auf eine Schaltung zur Differenzbildung **11** gelegt.

Der Füllstand im Behälter **1** ergibt sich aus dem am Ausgang **12** der Schaltung **11** anliegenden Differenzsignal als von den beiden Differenzdruckumformern **6** und **8** ermittelten Druckdifferenzen $\Delta\Delta p = \Delta p_1 - \Delta p_2$. Die Bildung der Differenz der beiden Meßwerte wird von der Schaltung **11** elektronisch auf analogem oder digitalem Weg vorgenommen. Das Ausgangssignal der Schaltung **11** ist das Maß für den Füllstand im Behälter. Die Ermittlung des Füllstands im Behälter **1** hat nach folgender Formel zu erfolgen:

$$L = \frac{\Delta\Delta p}{(\rho_F - \rho_G) \cdot g} - \frac{\rho_V - \rho_G}{\rho_F - \rho_G} \cdot \Delta H$$

wobei

Δp_1 Meßwert des Differenzdruckumformers **6**,

Δp_2 Meßwert des Differenzdruckumformers **8**,

$\Delta\Delta p$ Differenz der Meßwerte der beiden Differenzdruckaufnehmer **6** und **8**,

ρ_V Dichte des Füllmediums in der Verbindungsleitung **9**,

ρ_G Dichte des Gases/Dampfes im Behälter **1**,

ρ_F Dichte der Flüssigkeit im Behälter **1**,

g Erdbeschleunigung,

ΔH Höhendifferenz zwischen oberem und unterem Anschlußstutzen **2, 3** am Behälter **1**,

L Füllstand im Behälter **1**, von der Höhe des unteren Anschlußstutzens **2** aus gerechnet, bedeuten.

Als Füllmedium ist vorzugsweise ein nichtkondensierbares Gas zu verwenden. Dieses Gas garantiert, daß in der Verbindungsleitung **9** keinerlei Kondensations-, Verdampfungs- oder Ausgasungsprozesse ablaufen können, die bei Füllung mit einem anderen Füllmedium auftreten würden. Solche Vorgänge können fortan nur noch in den Leitungen **5, 7** zwischen den Differenzdruckaufnehmern **6** und **8** und dem Behälter **1** vorkommen, wo jedoch durch die horizontale Verlegung keine hydrostatischen Druckdifferenzen vorliegen. Gas hat weiterhin den Vorteil geringer Dichte, so daß die hydrostatische Druckdifferenz in der Verbindungsleitung **9** gering ist.

Es besteht die Möglichkeit, die Dichte des Füllgases in der angegebenen Formel zu vernachlässigen und den maximal auftretenden Fehler durch eine Fehlerrechnung abzuschätzen. Bei höheren Behälterdrücken kann die Gasdichte jedoch Werte annehmen, die berücksichtigt werden müssen. Die Dichte kann mit guter Genauigkeit aus dem Systemdruck im Behälter **1** und der Temperatur der Umgebung der Verbindungsleitung **9** ermittelt werden. Es kann auch eine Helium- oder Wasserstofffüllung in Betracht gezogen werden, wodurch die Dichte in der Verbindungsleitung **9** besonders klein gehalten werden kann.

Durch die Differenzbildung fließen die Systemdrücke im Behälter **1** und in der Verbindungsleitung **9** sowie die Dichte des Meßmediums unterhalb des unteren Anschlußstutzens **3** nicht in das Meßergebnis ein. Daraus folgt, daß ein eventueller Fehler beim Druckausgleich keinen Einfluß auf die Meßgenauigkeit hat.

Wie in **Fig. 2** dargestellt, kann der Druckausgleich zwischen dem Systemdruck im Behälter **1** und der Verbindungsleitung **9** mit Hilfe eines Druckausgleichsgefäßes **13** vorgenommen werden. Über das Füllventil **10** wird zum Zeitpunkt der Inbetriebnahme der Anordnung das nichtkondensierbare Gas (für viele praktische Fälle z. B. Stickstoff, aber auch Helium oder Wasserstoff) eingespeist. Im Druckausgleichsgefäß **13** stellt sich ein Füllstand ein. Bei einem Anstieg des Drucks im Behälter **1** gelangt Flüssigkeit über die Leitung **14** in das Druckausgleichsgefäß **13**, der Füllstand im Druckausgleichsgefäß **13** steigt daraufhin an und das Gas im Kopfbereich des Druckausgleichsgefäßes **13** sowie in der Verbindungsleitung **9** wird komprimiert. Bei Druckabfall strömt die Flüssigkeit in entgegengesetzter Richtung zurück in den Behälter **1**. Dadurch wird in jedem Fall der Druckausgleich vollzogen. Das Volumen des Druckausgleichsgefäßes **13** ist so zu bemessen, daß bei Druckanstieg keine Flüssigkeit in die Verbindungsleitung **9** gelangen kann.

Tritt ein Leck auf der Seite der mit Gas gefüllten Verbindungsleitung **9** auf, so wird das Gas durch das Leck entweichen und der Druckausgleich wird nicht mehr möglich sein.

dungsleitung 9 auf, so füllt sich diese mit Flüssigkeit aus dem Behälter 1 über das Druckausgleichsgefäß 13. Dabei nimmt Δp ab, wodurch der angezeigte Füllstandswert abfällt. Für Füllstandsmeßstellen bei Kernreaktoren führt dieser Abfall zur Verfälschung des Anzeigewerts in Auslöse- 5 richtung von wichtigen sicherheitstechnischen Einrichtungen (Reaktornotkühlung). Damit ist der Nachteil von Systemen mit Pegelgefäß behoben, die bei Leckagen an der Verbindungsleitung eine Zunahme des Anzeigewertes gegenüber dem tatsächlichen Höhenstand liefern. 10

Als Füllmedium in der Verbindungsleitung 9 kann auch eine Flüssigkeit verwendet werden. Hierbei ist darauf zu achten, daß der Siedepunkt der Flüssigkeit bei keinem der zu erwartenden Anlagenzuständen erreicht werden kann. Desweiteren muß die Füllflüssigkeit möglichst frei von gelösten Gasen sein, damit ein Druckabfall nicht zu Ausgasungsvorgängen führen kann. 15

Gemäß Fig. 3 kann bei Verwendung einer Flüssigkeit der Druckausgleich durch eine elastische Membran 15, die im Druckausgleichsgefäß 13 angeordnet ist, erfolgen. Wegen der geringen Kompressibilität der Flüssigkeit ist die Herstellung des Druckausgleichs zwischen Behälter 1 und Verbindungsleitung 9 nur mit kleinen Volumenänderungen verbunden. Die Membran 15 kann auch in Form eines Faltenbalgs ausgeführt sein. 20 25

Beim Auftreten einer Leckage nimmt der Druck in der mit Flüssigkeit gefüllten Verbindungsleitung 9 rasch ab. Dadurch werden beide Differenzdruckumformer 6, 8 übersteuert, wodurch die Anordnung ausfällt. Die Übersteuerung kann mit Hilfe von Schwellwertbausteinen nachgewiesen werden mit der Folge, daß eine automatische Erkennung des Ausfalls der Meßanordnung gegeben ist. 30

Patentansprüche 35

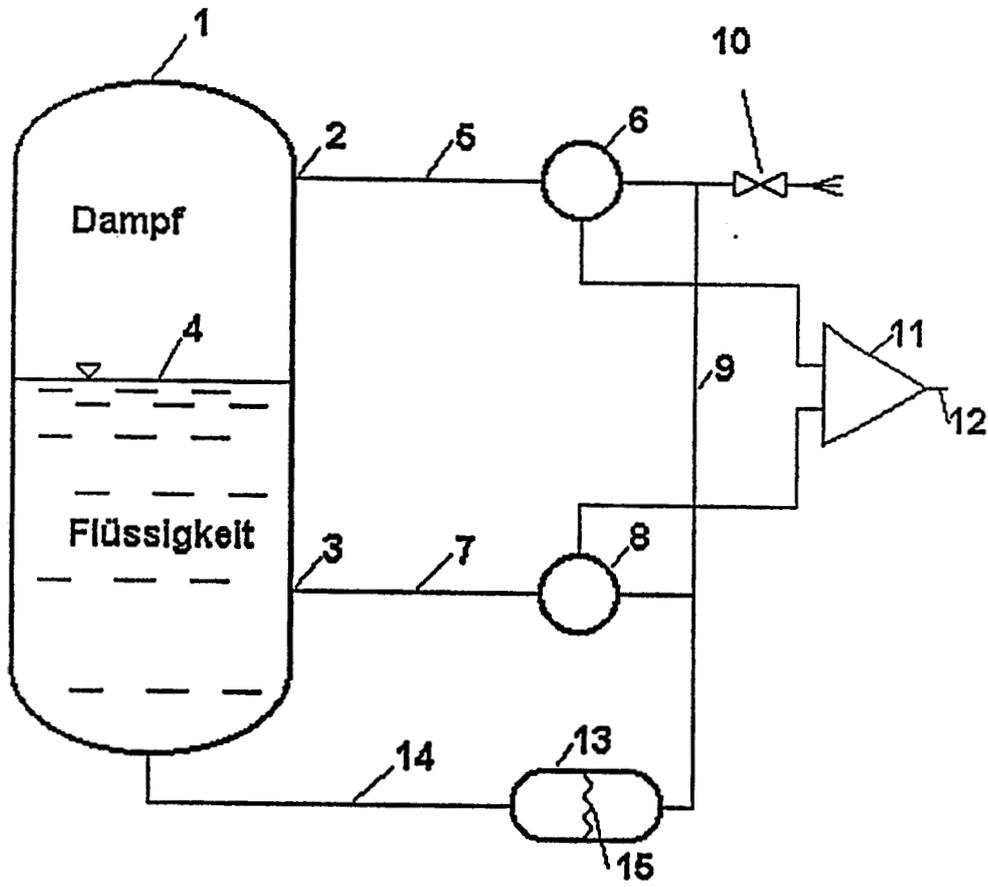
1. Anordnung zur hydrostatischen Füllstandsmessung in einem Druckbehälter, der zu einem Teil mit Gas, zum anderen mit einer Flüssigkeit, deren Füllstand zu bestimmen ist, gefüllt ist, bei der der Füllstand unter Kenntnis der Dichten von Flüssigkeit und Gas sowie der Erdbeschleunigung aus der zwischen zwei, auf unterschiedlichen Höhen am Behälter angebrachten Anschlußstutzen vorliegenden Druckdifferenz bestimmt wird und die Druckdifferenz durch Differenzdruckumformer gemessen wird, **dadurch gekennzeichnet**, daß sowohl der obere als auch der untere Anschlußstutzen mit einem der Eingänge von je einem Differenzdruckumformer über horizontal verlegte Verbindungsleitungen verbunden sind, daß die beiden anderen Eingänge der Differenzdruckumformer miteinander verbunden sind, wobei die hierfür verwendete Verbindungsleitung mit einem Medium bekannter Dichte gefüllt ist und daß die Meßsignalausgänge der beiden Differenzdruckumformer mit einer Schaltung zur Differenzbildung verbunden sind, die die Druckdifferenz als Maß für den Füllstand ausgibt. 40 45 50 55

2. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Verbindungsleitung zwischen den Differenzdruckumformern mit einem Gas gefüllt ist und daß die Verbindungsleitung über eine Druckausgleichsleitung mit dem Kopfbereich eines Druckausgleichsgefäßes verbunden ist, dessen Bodenanschluß an den Teil des Druckbehälters angeschlossen ist, in dem sich Flüssigkeit befindet. 60

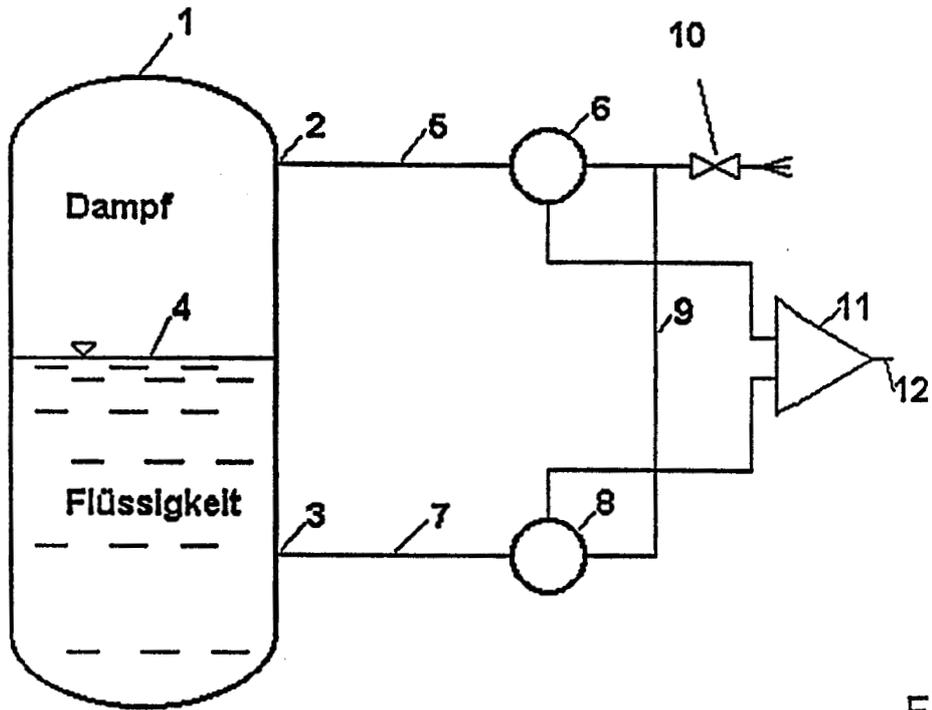
3. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Verbindungsleitung zwischen den Differenzdruckumformern mit einer Flüssigkeit gefüllt ist und daß die Verbindungsleitung über eine Druckaus- 65

gleichsleitung mit einem Druckausgleichsgefäß verbunden ist, dessen zweiter Anschluß an den Druckbehälter angeschlossen ist, wobei eine im Druckausgleichsgefäß angeordnete elastische Membran die Trennung von Meßmedium und Füllflüssigkeit gewährleistet.

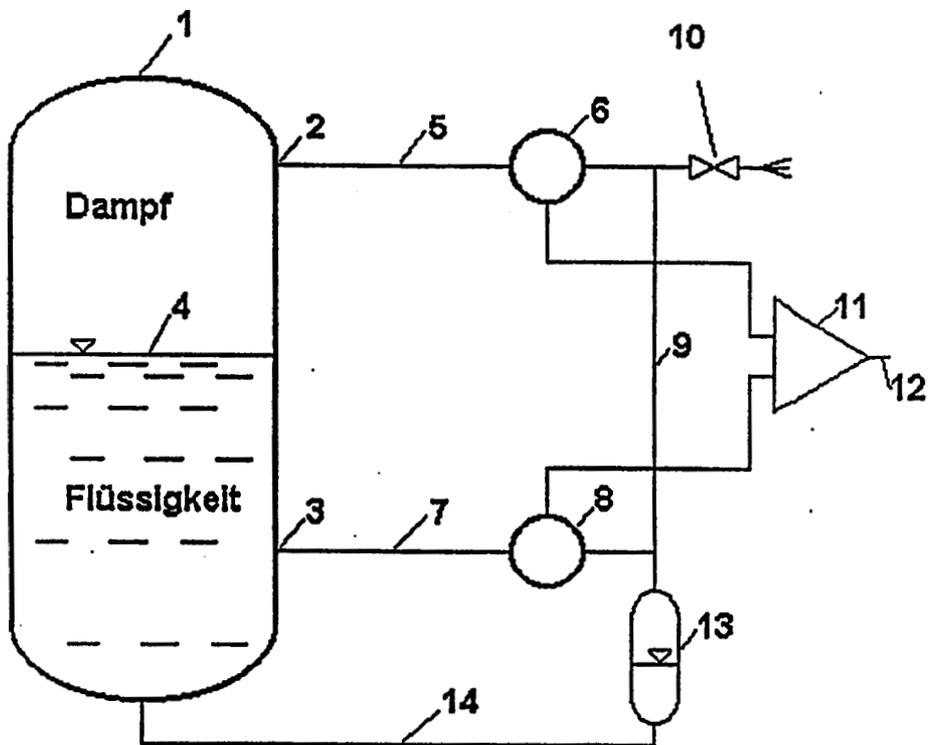
Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen



Figur 3



Figur 1



Figur 2