

①9 **BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT**

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 198 15 242 A1**

⑤1 Int. Cl.⁶:
F 16 L 55/04

⑳1 Aktenzeichen: 198 15 242.6
⑳2 Anmeldetag: 4. 4. 98
⑳3 Offenlegungstag: 7. 10. 99

⑦1 Anmelder:
Forschungszentrum Rossendorf eV, 01474
Schönfeld-Weißig, DE; Fraunhofer-Gesellschaft zur
Förderung der angewandten Forschung e.V., 80636
München, DE

⑦2 Erfinder:
Prasser, Horst-Michael, Dr., 01324 Dresden, DE;
Schlüter, Stefan, Dr., 46117 Oberhausen, DE;
⑤6 Dudlik, Andreas, 45219 Essen, DE

Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Be-
tracht zu ziehende Druckschriften:

DD 20 10 414
DD 2 11615
WO 94 02 775 A1

FULST,G., RIENMÜLLER,T.: Ungesteuerte und
gesteuerte Rückflußverhinderer. In: 3R
international 34, 1995, H.9, Sep., S.473-482;

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

⑤4 Anordnung zur Verhinderung eines Kavitationsschlages beim schnellen Absperrern einer zum Transport von Flüssigkeiten genutzten Rohrleitung

⑤7 Aufgabe der Erfindung ist eine Anordnung, die nach erfolgtem Schließen der Absperrarmatur das Auftreten von Druckschlägen sicher verhindert, ohne dabei die Schließgeschwindigkeit der Absperrarmatur zu senken und ohne eine Einspeisung von Luft oder anderen Gasen in die Rohrleitung vorzunehmen.

Die Lösung beinhaltet, daß die Rohrleitung in Fließrichtung hinter der Absperrarmatur mit einer Hilfsarmatur versehen ist und daß sich in der Rohrleitung ein Strömungssensor befindet, dessen Ausgang über einen Schwellwertschalter mit dem Antrieb der Hilfsarmatur verbunden ist.

Eine vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung ergibt sich, wenn die Rohrleitung zwischen der Absperr- und der Hilfsarmatur über eine Auffülleitung und eine Auffüllarmatur mit einem Flüssigkeitsreservoir verbunden ist und wenn in der Rohrleitung zwischen Absperr- und Hilfsarmatur ein Drucksensor angeordnet ist, dessen Ausgang über einen Schwellwertschalter mit dem Antrieb der Auffüllarmatur verbunden ist.

Die weitere Ausgestaltung der Erfindung sieht eine Verriegelungsschaltung vor, deren Ausgang auf den Antrieb der Absperrarmatur geschaltet ist, deren einer Eingang mit dem Ausgang des Schwellwertschalters und deren anderer Eingang mit der Betätigungseinrichtung für das Öffnen der Absperrarmatur verbunden ist.

Die Erfindung betrifft eine Anordnung zur sicheren und zuverlässigen Verhinderung des Kavitationsschlages, der beim schnellen Absperrn von Rohrleitungen zur Förderung von Flüssigkeiten durch die Betätigung von schnellwirkenden Ventilen bzw. Klappen (Absperrarmatur) auftritt, wenn sich kurz nach dem Schließen der Absperrarmatur hinter dieser eine Kavitationsblase bildet.

Beim Schließen einer Absperrarmatur in einer Rohrleitung, in der eine Flüssigkeit mit einer bestimmten Geschwindigkeit strömt, kann es zu sogenannten Kavitationsschlägen kommen. In vielen technischen Anwendungen ist ein möglichst rasches Absperrn von Rohrleitungen erforderlich. Ein Beispiel sind Leitungen zum Fördern von flüssigen Stoffen in chemischen Anlagen von einem Verfahrensschritt zum anderen. Schnellwirkende Absperrarmaturen werden auch vorgesehen, um im Fall eines Leitungsbruchs die Menge des aus dem Leck austretenden Mediums zu begrenzen und eine Ausweitung des Störfalls zu verhindern.

Druckschläge werden meist durch Verringerung der Schließgeschwindigkeit der Absperrarmatur vermindert. Erfahrungsgemäß kann hierdurch der Druckstoß auf der Zulaufseite leicht beherrscht werden, weil dieser unmittelbar durch die plötzliche Abbremsung der Flüssigkeitssäule ausgelöst wird. Eine Kavitationsblase hinter der Armatur kann jedoch auch bei größeren Schließzeiten entstehen, insbesondere wenn die Rohrleitung sehr lang ist (Thorley, A. R. D., „Fluid Transients in Pipeline Systems“, D & L George LTD, 1991, Hadley Wood, Bamet, GB). Damit steht die Verringerung der Schließgeschwindigkeit in den meisten Fällen der Forderung entgegen, die Rohrleitung möglichst rasch abzusperrn und kann deshalb nicht zur Verhinderung von Kondensationsschlägen angewandt werden.

Eine weitere bekannte Möglichkeit besteht in der Belüftung bzw. dem Einspeisen von anderen, nichtkondensierbaren Gasen in die Rohrleitung hinter der Absperrarmatur (Raschke, E., Salla, M., Hültenschmidt, W.: „Druckstoß gedämpft, Rohrleitung geschützt – Kondensationsschläge in Rohrleitungen unter dem dämpfenden Einfluß von Gasen“, Verfahrenstechnik 7–8/97, S. 45–49). Zu diesem Zweck wird eine Belüftungsarmatur dicht hinter der Absperrarmatur angebracht, die beim Auftreten eines Unterdrucks hinter der Absperrarmatur selbsttätig öffnet und eine bestimmte Menge Luft in die Transportleitung gelangen läßt. Dabei wird davon ausgegangen, daß der Unterdruck infolge Anwesenheit einer Kavitationsblase auftritt. Die Luft führt zum teilweisen Abbau des Unterdrucks in der Kavitationsblase. Außerdem wird durch die Anwesenheit der Luft die Kondensationsgeschwindigkeit des Dampfes während der Phase der Rückströmung der Flüssigkeit stark vermindert. Als drittes verbleibt nach vollständiger Kondensation des Dampfes eine Luftblase in der Leitung, die durch ihre gute Kompressibilität den Druckstoß dämpft. Alle drei genannten Effekte führen zu einer Verminderung der Druckspitzen beim Kavitationsschlag. In der Praxis kann Luft häufig nicht verwendet werden, weil sie mit der Flüssigkeit reagiert bzw. diese unzulässig verunreinigt. In diesen Fällen kommen andere, mit der Flüssigkeit nicht in Reaktion tretende Gase zum Einsatz. Nachteilig ist in jedem Fall, daß durch die Einspeisung die zu transportierenden Flüssigkeit verunreinigt wird.

Weiterhin besteht die Möglichkeit, durch den Einbau eines Windkessels die Entstehung von Dampfblasen in der Rohrleitung zu verhindern (Raschke, E., Seelinger, A., Sperber, A., Straßburger, A.: „Simulation des instationären hydraulischen Verhaltens verfahrenstechnischer Anlagen mit langen Rohrleitungen“, CIT 66 (1994) 5, S.652–660). Der

Windkessel wird hierzu hinter der Absperrarmatur angeschlossen. Er ist bei Normalbetrieb teilweise mit der zu transportierenden Flüssigkeit gefüllt, über der sich ein Gaspolster befindet. Nachteilig ist, daß der Windkessel zusätzlichen Raum beansprucht und daß Löslichkeit des Gases in der Flüssigkeit im Windkessel zu einer Verunreinigung der zu transportierenden Flüssigkeit in der Rohrleitung führt. Weiterhin müssen die Gasverluste durch dessen Löslichkeit durch Nachspeisen ausgeglichen werden.

Aufgabe der Erfindung ist es, eine Anordnung vorzuschlagen, die nach erfolgtem Schließen der Absperrarmatur das Auftreten von Druckschlägen sicher verhindert, ohne dabei die Schließgeschwindigkeit der Absperrarmatur zu senken, ohne eine Einspeisung von Luft oder anderen Gasen in die Rohrleitung vorzunehmen und ohne einen Windkessel einzusetzen.

Erfindungsgemäß wird die Aufgabe durch die in den Patentansprüchen aufgeführten Merkmale gelöst.

Die Hilfsarmatur wird automatisch geschlossen, wenn die von einem in der Rohrleitung angebrachten Strömungssensor ermittelte Geschwindigkeit einen Schwellwert unterschreitet. Das Geschwindigkeitssignal wird hierzu von einem Schwellwertschalter überwacht, der bei Unterschreitung des vorgegebenen Schwellwerts das Signal zum Schließen der Hilfsarmatur ausgibt. Erfindungsgemäß kann anstelle der Hilfsarmatur auch ein Rückflußverhinderer eingesetzt werden, der selbsttätig schließt, wenn eine Strömungsumkehr erfolgt. In diesem Fall entfallen der Strömungssensor und der Schwellwertschalter. Die Strömungsumkehr ist gleichbedeutend mit der Unterschreitung des Grenzwertes Null für die Flüssigkeitgeschwindigkeit. Der Abstand zwischen Absperr- und Hilfsarmatur bzw. Rückflußverhinderer soll vorzugsweise so gewählt werden, daß die Kavitationsblase die Hilfsarmatur in keinem Fall erreichen kann. Die Position kann durch eine Auslegungsrechnung ermittelt werden:

Wenn die Flüssigkeit der Dichte ρ mit einer Anfangsgeschwindigkeit v_0 strömt, der Sättigungsdruck bei der vorliegenden Temperatur den Wert p_S besitzt, am Ende der Transportleitung ein Gegendruck p_G vorliegt und die Rohrleitung eine Länge L hat und horizontal verlegt ist, so tritt bei schnellem Schließen der Absperrarmatur eine Kavitationsblase auf, die die folgende maximale Länge L_{\max} nicht überschreiten kann:

$$L_{\max} = \frac{1}{2} \cdot v_0^2 \cdot \frac{\rho \cdot L}{p_G - p_S}$$

Der Abstand zwischen der Absperr- und der Hilfsarmatur ΔL sollte mindestens L_{\max} betragen. Bei Flüssigkeiten höherer Zähigkeit sollte die Reibung bei der Berechnung der maximalen Ausdehnung der Kavitationsblase berücksichtigt werden. Der Reibungsdruckverlust führt zu einer Verringerung der maximalen Länge gegenüber dem nach der Formel berechneten Wert. Als Anfangsgeschwindigkeit v_0 wird die Geschwindigkeit verstanden, bei der der Prozeß des Schließens der Absperrarmatur beginnt. Dabei muß zweckmäßigerweise die größte zu erwartende Strömungsgeschwindigkeit angenommen werden.

Nach dem Ansprechen der Hilfsarmatur bzw. dem Schließen des Rückflußverhinderers bleibt die Kavitationsblase und damit der Unterdruck im Raum zwischen beiden Armaturen bestehen. Ein Öffnen der Absperrarmatur würde in dieser Situation zu einem Kavitationsschlag führen. Eine Möglichkeit, diesen Druckstoß zu verhindern, besteht erfindungsgemäß in einem entsprechend langsamen Abbau der Kavitationsblase über eine Auffüllarmatur, über die Flüssig-

keit aus einem Reservoir in die Transportleitung eingespeist wird, welche die Kavitationsblase auffüllt. Die Auffüllarmatur wird geöffnet, wenn das Signal von einem Drucksensor einen vorgegebenen Schwellwert unterschreitet.

Das Auffüllen geschieht vorzugsweise durch Zuspäen von Flüssigkeit, die der Transportleitung selbst entnommen wird. Hierfür wird die Auffüllarmatur mit dem Abschnitt der Transportleitung vor der Absperrarmatur verbunden. Eine zweite Möglichkeit besteht in einer Entnahme der Flüssigkeit aus dem Abschnitt der Transportleitung hinter der Hilfsarmatur.

Solange noch eine Kavitationsblase im Raum zwischen Absperrarmatur und Hilfsarmatur vorhanden ist, muß dafür gesorgt werden, daß die Absperrarmatur nicht geöffnet werden kann, weil es dabei zu einem Kondensationsschlag kommen kann. Erfindungsgemäß wird dies durch eine Verriegelungsschaltung erreicht, die die Verbindung zwischen der Betätigungsvorrichtung für das Öffnen der Absperrarmatur und dem Antrieb der Absperrarmatur unterbricht, solange der Druck im Rohrleitungsabschnitt zwischen der Absperr- und der Hilfsarmatur bzw. dem Rückflußverhinderer einen vorgegebenen Schwellwert unterschreitet.

Statt der im Patentanspruch 1 angegebenen Mittel kann auch ein Rückflußverhinderer eingesetzt werden.

Nachfolgend wird die Erfindung an einem Ausführungsbeispiel näher erläutert.

Die zugehörige Zeichnung zeigt die erfindungsgemäße Anordnung in ihrer Ausführung mit Hilfsarmatur, Strömungssensor und Schwellwertschalter zur automatischen Betätigung der Hilfsarmatur, mit Auffüllarmatur sowie mit Drucksensor und Schwellwertschalter zur Steuerung der Auffüllarmatur und mit Verriegelung zur Verhinderung des Öffnens der Absperrarmatur beim Vorhandensein einer Kavitationsblase.

In der Zeichnung ist die Rohrleitung 1 dargestellt, in der im Normalbetrieb eine Flüssigkeit in der mit 2 bezeichneten Richtung strömt. In der Rohrleitung befindet sich eine Absperrarmatur 3, die zum schnellen Unterbrechen des Flüssigkeitsstroms dient.

In einem Abstand in Strömungsrichtung hinter der Absperrarmatur 3, der größer sein muß, als die maximale Ausdehnung der Kavitationsblase nach Formel 1, befindet sich die Hilfsarmatur 4. Die Hilfsarmatur 4 wird erfindungsgemäß durch das Signal vom Schwellwertschalter 5 derart angesteuert, daß sie geschlossen wird, wenn der Strömungssensor 6 einen Abfall der Strömungsgeschwindigkeit unter den vorgegebenen Geschwindigkeitsschwellwert 12, der möglichst nahe 0 liegen soll, detektiert.

Die Verhinderung des Kavitationsschlages erklärt sich wie folgt: Nach dem Schließen der Absperrarmatur führt die Trägheit der in Bewegung befindlichen Flüssigkeitssäule dazu, daß hinter der bereits geschlossenen Absperrarmatur der Druck zeitweilig stark abnimmt. Wenn dabei der Sättigungsdruck der Flüssigkeit unterschritten wird, kommt es zur Verdampfung und zur Herausbildung einer Kavitationsblase. Da am Rohrleitungsende in der Regel ein höherer Druck als in der Kavitationsblase herrscht, wird die Flüssigkeitssäule kontinuierlich abgebremst. Nach einiger Zeit kommt es zur Umkehr der Bewegungsrichtung. Die Kavitationsblase erreicht zu diesem Zeitpunkt ihre maximale Ausdehnung, die in erster Linie von der Fließgeschwindigkeit vor Schließen der Absperrarmatur, von der Rohrleitungslänge, von der Rohrreibung und vom Gegendruck am Rohrleitungsende abhängt. Ohne die erfindungsgemäße Anordnung führt danach die weiterhin bestehende Druckdifferenz zur Beschleunigung der Flüssigkeitssäule in Richtung auf die geschlossene Absperrarmatur. Die Flüssigkeit prallt schließlich mit einer erheblichen Endgeschwindigkeit auf

die geschlossene Armatur, wobei kurzzeitige Druck- und Kraftspitzen auftreten, die zu einer Zerstörung der Armatur, der Rohrleitung oder der Aufhängung bzw. Lagerung der Rohrleitung führen können. Dieser Effekt wird als Kavitationsschlag bezeichnet.

Die erfindungsgemäß hinter der Absperrarmatur 3 angeordnete Hilfsarmatur 4 wird geschlossen, wenn das Ausgangssignal des Strömungssensor 6 den Geschwindigkeitsschwellwert 12 unterschreitet. Dadurch wird die Flüssigkeit durch die Hilfsarmatur 4 plötzlich abgebremst. Der dabei auftretende Druckstoß ergibt sich aus der Momentangeschwindigkeit zum Zeitpunkt des Schließens der Hilfsarmatur 4. Der Geschwindigkeitsschwellwert 12 ist deshalb vorzugsweise auf einen Wert einzustellen, dessen Betrag so klein wie möglich ist. Das Absperrarmatur 4 erfolgt damit etwa zum Zeitpunkt der Strömungsumkehr und der größten Ausdehnung der Kavitationsblase. Letztere wird zwischen der Absperrarmatur 3 und der Hilfsarmatur 4 eingeschlossen und am Kondensieren gehindert. Der Kavitationsschlag wird unterbunden.

Wenn die Hilfsarmatur 4 in einem Abstand hinter der Absperrarmatur 3 angeordnet ist, bei dem die Kavitationsblase sich bis in die Rohrleitung hinter der Hilfsarmatur ausdehnen kann, ist die Verhinderung des Kavitationsschlages nur teilweise wirksam. Der Teil der Kavitationsblase, der sich nach Schließen der Hilfsarmatur 4 in der Rohrleitung 1 hinter der Hilfsarmatur 4 befindet, wird anschließend kondensieren, wodurch ein Kavitationsschlag auftritt. Die Höhe dieses Druckstoßes wird jedoch kleiner sein, als die Höhe des Druckstoßes, der ohne die Verwendung der Hilfsarmatur auftreten würde.

Nach dem Ansprechen der Hilfsarmatur 4 bleibt die Kavitationsblase und damit der Unterdruck im Raum zwischen beiden Armaturen 3, 4 bestehen. Um ein erneutes Öffnen der Absperrarmatur 3 ohne das Auftreten eines Druckstoßes zu ermöglichen, wird erfindungsgemäß ein entsprechend langsamer Abbau der Kavitationsblase über die Auffüllarmatur 8 erreicht. Dazu ist die Auffüllarmatur 8 in einer Auffülleitung 7 angeordnet, die den Abschnitt der Rohrleitung 1 vor der Absperrarmatur 3 mit dem Abschnitt zwischen Absperrarmatur 3 und Hilfsarmatur 4 verbindet. Zum Abbau der Kavitationsblase wird die Auffüllarmatur 8 geöffnet. Die Auffüllarmatur 8 wird so ausgelegt, daß ihr Strömungsquerschnitt wesentlich kleiner ist, als der Querschnitt der Rohrleitung 1, so daß das Auffüllen so langsam geschieht, daß durch das Auffüllen kein Druckstoß auftreten kann.

Eine automatische Steuerung der Auffüllarmatur 8 wird erfindungsgemäß durch den Drucksensor 9 sowie den Schwellwertbaustein 10 realisiert. Die Auffüllarmatur 8 wird geöffnet, wenn der Druckschwellwert 13 im Abschnitt der Rohrleitung 1 zwischen der Absperrarmatur 3 und der Hilfsarmatur 4 unterschritten wird.

Eine weitere wichtige Funktion der Erfindung besteht darin, zu verhindern, daß die Absperrarmatur 3 geöffnet werden kann, wenn sich eine Kavitationsblase zwischen den beiden Armaturen 3 und 4 befindet. Das wird erfindungsgemäß dadurch erreicht, daß eine Verriegelungsschaltung 11 das Öffnen der Absperrarmatur 3 blockiert, wenn der Schwellwertbaustein 10 in der weiter oben bereits dargelegten Weise das Unterschreiten des Druckschwellwertes 13 und damit das Vorhandensein einer Kavitationsblase anzeigt. Die Verriegelungsschaltung 11 ist zwischen der Betätigungseinrichtung 14 für das Öffnen der Absperrarmatur 3 und den Antrieb der Absperrarmatur 3 angeordnet.

Patentansprüche

1. Anordnung zur Verhinderung eines Kavitations-

schlages beim schnellen Absperrern einer zum Transport von Flüssigkeiten genutzten Rohrleitung durch Schließen einer Absperrarmatur, **dadurch gekennzeichnet,**

daß die Rohrleitung in Fließrichtung hinter der Absperrarmatur mit einer Hilfsarmatur versehen ist und daß sich in der Rohrleitung ein Strömungssensor befindet, dessen Ausgang über einen Schwellwertschalter mit dem Antrieb der Hilfsarmatur verbunden ist.

2. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Hilfsarmatur als selbsttätig schließender Rückflußverhinderer ausgeführt ist.

3. Anordnung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet,

daß die Rohrleitung zwischen der Absperr- und der Hilfsarmatur über eine Auffülleitung und eine Auffüllarmatur mit einem Flüssigkeitsreservoir verbunden ist und

daß in der Rohrleitung zwischen Absperr- und Hilfsarmatur ein Drucksensor angeordnet ist, dessen Ausgang über einen Schwellwertschalter mit dem Antrieb der Auffüllarmatur verbunden ist.

4. Anordnung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß als Flüssigkeitsreservoir die Rohrleitung vor der Absperr- oder hinter der Hilfsarmatur eingesetzt ist.

5. Anordnung nach Anspruch 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß eine Verriegelungsschaltung vorgesehen ist, deren Ausgang auf den Antrieb der Absperrarmatur geschaltet ist, deren einer Eingang mit dem Ausgang des Schwellwertschalters und deren anderer Eingang mit der Betätigungseinrichtung für das Öffnen der Absperrarmatur verbunden ist.

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

35

40

45

50

55

60

65

Forschungszentrum Rossendorf e.V.

== ha 1140 ==

