

Druckstöße und Kavitationsschläge vermeidbar

Betriebserfahrungen mit Absperrarmaturen in flüssigkeitsfördernden Rohrleitungssystemen

Aktuell am Markt verfügbare Methoden und Applikationen zur Vermeidung von Druckstoß- und Kavitationschäden in Rohrleitungen erfordern es, nahezu jedes Leitungssystem gesondert zu untersuchen und zu optimieren. Pauschalmaßnahmen führen in der Regel zu unbefriedigenden Ergebnissen. Verbesserungen soll ein PCD-System bringen, das in drei Schritten zu einem nun als Funktionsmuster erhältlichen Produkt entwickelt wurde. Erste Betriebserfahrungen an einer großtechnischen Versuchsanlage zeigen, dass mit dem gewählten System Druckstöße und Kavitationschäden sehr gut gedämpft werden können. ANDREAS DUDLIK, ALEXANDER APOSTOLIDIS, GÜNTER WICKL, GÜNTER KIPP

Im Jahr 2000 waren versagende Rohrleitungen bei 9 Prozent der meldepflichtigen Störfälle ein Hauptgrund für das Schadenereignis [1]. Die Festigkeitsauslegung und Dimensionierung von Rohrleitungssystemen erfolgt in der Regel unter Zugrundelegung des stationären Betriebszustandes. Bedingt durch die geringe Kompressibilität des Fördermediums sind insbesondere flüssigkeitsfördernde Rohrleitungssysteme anfällig gegenüber Abweichungen vom stationären

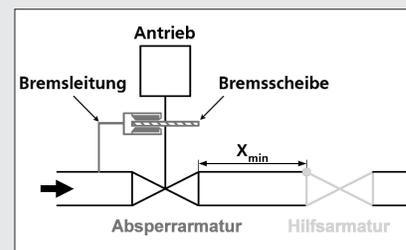
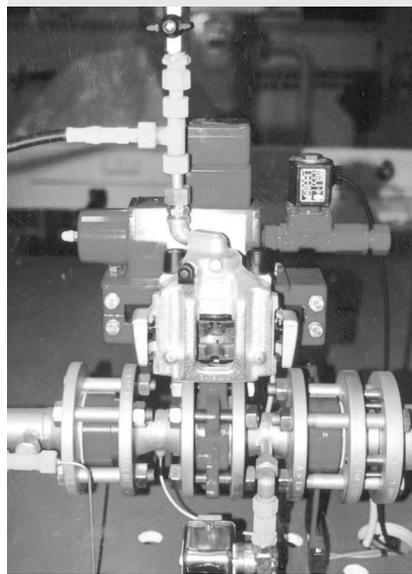


Abb. 1: Grundversion der ABS-Armatur.

Betriebszustand, wie sie häufig durch schnelle Regeleinriffe in die Strömungsgeschwindigkeit erfolgen. Die dabei entstehenden Druckspitzen, auch Druckstöße und Kavitationsschläge genannt, übertreffen den stationären Betriebsdruck häufig um ein Vielfaches und können ganze Rohrleitungssysteme mit den darin enthaltenen Komponenten wie Messtechnik und Armaturen zerstören. Die Größe der auftretenden Druckstöße ist im Wesentlichen abhängig von der Verzögerung der Strömung, der Druckwellen-Ausbreitungsgeschwindigkeit, der Armaturencharakteristik sowie der auf die Länge des Leitungssystems stromaufwärts des Absperrorgans bezogenen Schließzeit.

Bekannte Maßnahmen zur Vermeidung von Druckstößen

Eine preiswerte Methode zur Vermeidung von Druckstößen ist die Verlängerung der Schließ- bzw. Öffnungszeit von Armaturen, aus sicherheitstechnischer Sicht stehen dem in der Praxis jedoch oft Hindernisse gegenüber. Daher werden Windkessel oder Blasen Speicher in unmittelbarer Nähe stromaufwärts der Absperrarmatur installiert. Dabei nimmt der Blasen Speicher Flüssigkeit aus der Förderleitung auf und reduziert somit die Verzögerung der anstehenden Flüssigkeitssäule, wodurch der Druckstoß vermindert wird. Nachteilig an dieser Lösung sind

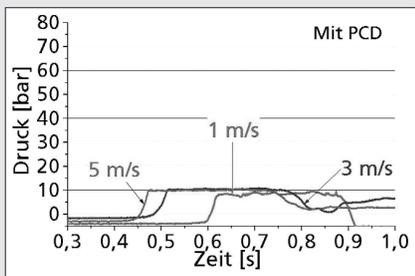
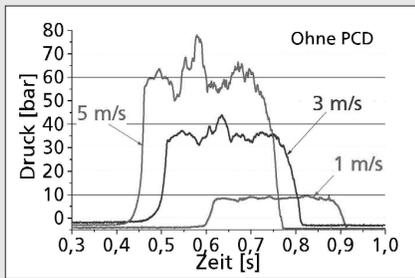


Abb. 2: Versuchsergebnisse von Druckstoßversuchen ohne bzw. mit ABS-Armatur.

lange Stillstandzeiten infolge aufwändiger Umbaumaßnahmen, die Einhaltung wiederkehrender Prüffristen nach Druckgeräteverordnung sowie eine mögliche Verunreinigung des Fördermediums durch Aufnahme des Gases aus dem Windkessel. Mit Hilfe kommerzieller Berechnungssoftware lassen sich unbedenkliche Schließzeiten für ein Leitungssystem errechnen. Der auf diesem Weg ermittelte Ventilposition-Zeit-Verlauf wird dem Absperrorgan zur Verfügung gestellt und steuert mit Hilfe einer Positionier-Einrichtung das Schließverhalten der Absperrarmatur. Ein Druckstoß kann so vermieden werden. Hierfür ist jedoch eine zuverlässige und kostenintensive mathematische Erfassung des Rohrleitungssystems Voraussetzung.

Prototyp 1

Die Entwicklung des PCB-Systems vollzog sich in drei Schritten. 1999 wurde der erste Prototyp zum Patent angemeldet (D, EU, USA) und ein, zwei Jahre später erteilt [2-9]. Mit der in Abbildung 1 dargestellten Anordnung wurden an der institutseigenen Versuchsanlage [11] im Hinblick auf die Dämpfung von Druckstößen bereits sehr gute Ergebnisse erzielt (Abb. 2).

Bei der in Abb.1 dargestellten Grundversion des PCB-Systems dient der stromaufwärtige Leitungsdruck zum Betätigen einer hydraulischen Bremsanlage. Diese ist über eine Bremsscheibe mit der Antriebswelle der Absperrarmatur verbunden. Überschreitet der stromaufwärtige Leitungsdruck einen kritischen Wert, so blockiert die Bremse und die Klappenschließbewegung kommt zum Stillstand. Unterdessen sinkt der Leitungsdruck ab und der Schließvorgang wird automatisch fortgesetzt.

Abhängig von der eingestellten stationären Strömungsgeschwindigkeit in einem Rohrleitungssystem der Nennweite DN100 werden bei einem schnellen Schließen der Absperrarmatur die in Abbildung 2 dargestellten Druckstöße verursacht. Man erkennt deutlich, dass der stationäre Betriebsdruck (bei 3 m/s etwa 2,5 bar – hier auf 0 bar Überdruck kalibriert) auf 40 bar Überdruck ansteigen kann.

Bei Einsatz des oben beschriebenen PCB-Systems werden diese Druckstöße deutlich reduziert (Abb. 2 rechts). Vorteile dieser Anordnung sind im Folgenden zusammengefasst:

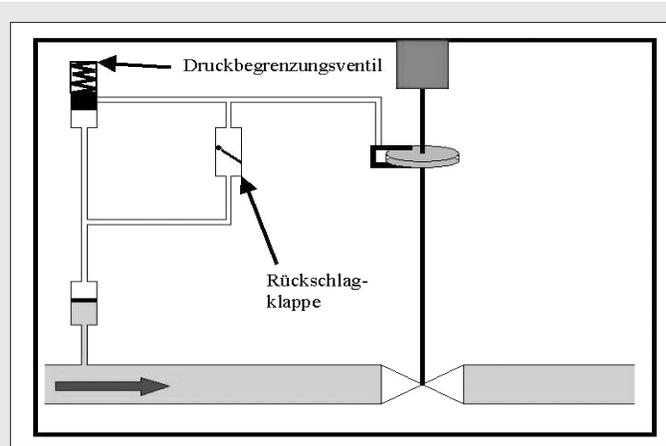


Abb.3: Zweite Stufe des PCB-Systems.

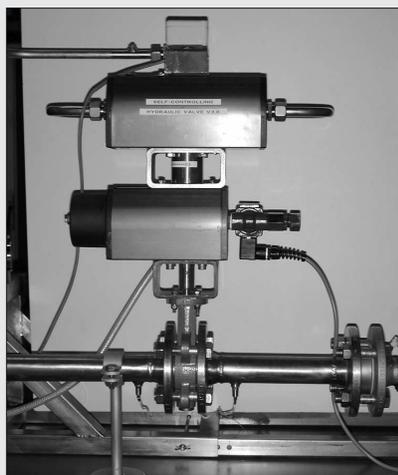


Abb. 4: Foto und Prinzipskizze des PCB-Systems.

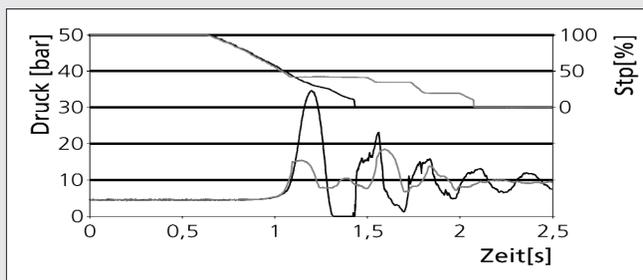
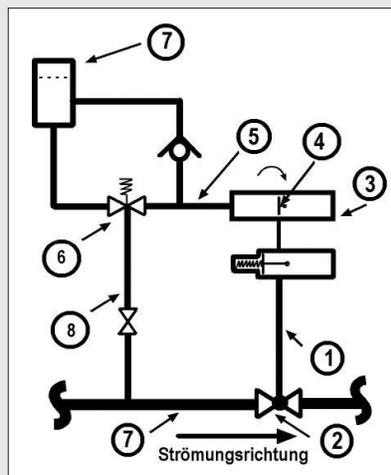


Abb.5: Zeitliche Druckverläufe stromaufwärts der Absperrklappe und Klappenstellung.

- ▶ direkte Druckübertragung von der Produktleitung über eine Bremsleitung an die Bremse;
- ▶ Trennung mit Hilfe einer Gummimembran aufgrund unterschiedlicher Medien (Produkt / Bremsflüssigkeit) erforderlich;
- ▶ einfache, preisgünstige Bauweise.

Nachteilig an der dargestellten Grundversion sind jedoch:

- ▶ höherer stationärer Absolutdruck führt zum Blockieren der Klappe, zuverlässiges und vollständiges Klappenschließen nicht mehr möglich;
- ▶ Luftansammlung in der Bremsleitung problematisch;

- ▶ Staub- und Schmierfilme auf der Bremscheibe müssen verhindert werden (z.B. Gehäuse);
- ▶ häufige Wartung der Membran erforderlich, da diese von der Bremsflüssigkeit auf Dauer versprödet.

Prototyp 2

Das Blockieren der Klappe war Anlass für die Entwicklung der zweiten Stufe (Abb. 3). Um die stationären Einflüsse zu kompensieren, wurde ein Bremssystem konzipiert, in welchem die eigentliche Bremsleitung durch ein Druckbegrenzungsventil geschützt ist. Ab einem vom Bediener einstellbaren Überdruck

öffnet dieses und gibt die Bremse frei. Stellt man beispielsweise das Überdruckventil auf den örtlichen stationären Druck beziehungsweise den Leitungs-Nennndruck ein, so kann das PCB-System im dynamischen Lastfall selbsttätig aktiviert werden.

Prototyp 3

Im Jahr 2002 wurde eine dritte Anordnung entwickelt und 2003 ebenfalls zum Patent angemeldet [10]. Das Genehmigungsverfahren läuft derzeit. Die Anordnung ist in Abbildung 4 dargestellt.

An dem Antriebsgestänge (1) der Schließklappe (2) ist eine zweite, mit Hydraulikflüssigkeit gefüllte Antriebseinheit (3) formschlüssig angebracht. Der darin enthaltene Kolben (4) drückt die Hydraulikflüssigkeit durch eine vom Fördermedium getrennte Hydraulikleitung (5) über ein Ventil (6) in einen Auffangbehälter (7). Der stromaufwärtige Druckanstieg in der Produktleitung (7) wird über eine Impulsleitung (8) auf dieses Ventil übertragen. Erreicht der Druck in der Produktleitung einen kritischen Wert, so verschließt das Ventil die Hydraulikleitung. Als Folge davon kann keine weitere Hydraulikflüssigkeit aus der Antriebseinheit austreten und die Rotation des Antriebsgestänges wird blockiert, die Schließbewegung des Absperrorgans wird somit gestoppt. Daraufhin sinkt der Leitungsdruck im stromaufwärtigen Teil der Produktleitung. Fällt dieser unter den am Ventil eingestellten Wert, so öffnet dieses wieder, Hydraulikflüssigkeit kann die Antriebseinheit verlassen und der Schließvorgang wird fortgesetzt. Die oben genannten Vorgänge spielen sich dann gegebenenfalls erneut ab.

Für eine stationäre Strömungsgeschwindigkeit von 2 m/s sind in Abbildung 5 der zeitliche Druckverlauf mit und ohne PCB-System auf der linken y-Achse dargestellt. Die rechte y-Achse zeigt die entsprechende Stellungsposition. Dabei stellen die schwarzen Kurven herkömmliche Klappenschnellschlüsse dar; die grauen Kurven zeigen Versuche unter gleichen Versuchsbedingungen mit aktivem PCB-System. Man erkennt, dass auftretende Druckspitzen um mehr als zwei Drittel reduziert werden und die Leitung statt auf PN40 mit PN20 dimensionierbar ist. Dadurch leistet das PCB-System einen preiswerten Beitrag zur Senkung der Investitionskosten und verbessert Sicherheit sowie Verfügbarkeit von Anlagen. Daraus resultieren die folgenden Vorteile:

- ▶ einstellbare Betriebs-Druckbereiche;
- ▶ keine Anfälligkeit gegenüber staubiger Umgebung;
- ▶ Verzicht auf aggressive Bremsflüssigkeiten;
- ▶ keine Luftblasenproblematik mehr;

- ▶ hohe Verfügbarkeit;
- ▶ geringe Lieferzeiten für die verwendeten Bauteile;
- ▶ wartungsarmes System;
- ▶ montagefreundlich.

Funktionsmuster

Basierend auf diesem dritten Typ wurde in diesem Jahr in Zusammenarbeit mit der Firma Ebro ein Funktionsmuster entwickelt (Abb. 6). Vorteil dieser Entwicklung ist, dass das Gerät erheblich kleiner baut. Verrohrung und Druckbegrenzungsventil befinden sich zusammen mit dem Bremskolben in einem kompakten Aluminium-Druckgehäuse. Versuchsergebnisse lagen bei Redaktionsschluss noch nicht vor.

Literatur

- [1] ZEMA – Zentrale Melde- und Auswertestelle für Störfälle, Dezember 2000
- [2] Prasser, Schlüter, Dudlik, Anordnung zur Verhinderung eines Kavitationsschlages beim schnellen Absperren einer zum Transport von Flüssigkeiten genutzten Rohrleitung, 198 15 242.6
- [3] Prasser, Schlüter, Dudlik, Anordnung zur Verhinderung eines Kavitationsschlages beim schnellen Absperren einer zum Transport von Flüssigkeiten genutzten Rohrleitung, Anm.-Nr. 99 105 982.5, Ert.-Nr.: EP 0 947 755
- [4] Prasser, Schlüter, Dudlik, Anordnung zum druckstoßfreien Absperren einer flüssigkeitsfördernden Rohrleitung, 198 40 961.3
- [5] Dudlik, Schlüter, Prasser, Anordnung zur Verhinderung unerwünschter Drücke beim Absperren oder Drosseln der Flüssigkeitsförderung in einer Rohrleitung, 199 40 096.2
- [6] Dudlik, Schlüter, Prasser, Anordnung zur Verhinderung unerwünschter Drücke beim Absperren oder Drosseln der Flüssigkeitsförderung in einer Rohrleitung, EP 001 154 42.6

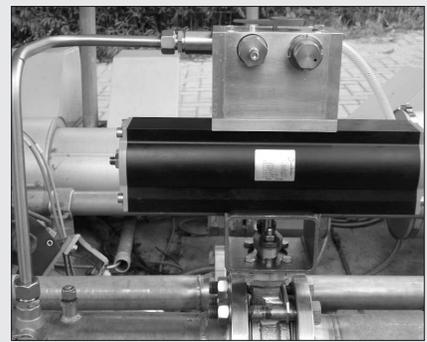


Abb. 6: Front- und Seitenansicht des ABS-Funktionsmusters, formschlüssig verbunden mit einem einfach wirkenden pneumatischen Antrieb und exzentrischer Absperklappe.

- [7] Dudlik, Schlüter, Prasser, Anordnung zur Verhinderung unerwünschter Drücke beim Absperren oder Drosseln der Flüssigkeitsförderung in einer Rohrleitung, US 6,347,783
- [8] Dudlik, ABS-Armatur (Wortmarke), 300 07 054.3/06
- [9] Dudlik, KAVITAS (Wortmarke), 303 35 038.5/42
- [10] Schlüter, Dudlik, Apostolidis, Wickl, Prasser, Self Controlling Hydraulic Valve – Eine Anordnung zur Vermeidung von Druckstößen in flüssigkeitsfördernden Rohrleitungen, 10 2004 025 983.6
- [11] www.rohrleitungstechnologie.de

more @ click PA6C0601 >