

Literatur

- [1] VAJNA, S.
Stand und Tendenzen der rechnerintegrierten Anlagenplanung, Tagungshandbuch 19. Konstruktions- Symposium der DECHEMA e. V., Frankfurt/Main 1999.
- [2] JANDELEIT, M.; STROHMEIER, K.
Integrierte Konstruktionssysteme im Anlagenbau – Ein Konzept, Konstruktion 9 (2000), Springer/VDI-Verlag, Düsseldorf 2000.
- [3] VAJNA, S.; WEGNER, B.
Features – Information Carriers for the Product Creation Process, Proceedings American Society of Mechanical Engineers, Sacramento 1997.
- [4] VDI 2218, Feature-Technologie, VDI-Handbuch Konstruktion, Beuth-Verlag, Berlin 1999.
- [5] SHAH, J.; MÄNTYLÄ, M.
Parametric and Feature-Based CAD/CAM“, John Wiley & Sons, New York 1995.
- [6] BUGOW, R.
EXPRESS: Das universelle Werkzeug“, Produkt-daten-Journal, ProSTEP e.V., Darmstadt, Juli 1997.

Vermeidung von Druckstößen und Kavitationsschlägen in Rohrleitungssystemen

ANDREAS DUDLIK, SRI BUDI HANDAJANI SCHÖNFELD*
UND RALF MÜLLER

1 Problemstellung

Druckstöße und Kavitationsschläge verursachen Schäden an Rohrleitungssystemen. Resultierende Leckagen können außerdem erhebliche Schäden an Mensch und Umwelt hervorrufen. Um diese Druckschwankungen beherrschen zu können, werden bei Fraunhofer UMSICHT in Oberhausen Untersuchungen zum Druckstoß durchgeführt und daraus neue Methoden zur Vermeidung der Druckstöße und Kavitationsschläge entwickelt. Bei der hier vorgestellten Methode wird eine vorhandene Schnellschlussklappe mit einem hydraulischen Bremssystem („ABS-Armatur“) ausgerüstet und mit einer Rückschlagklappe kombiniert. Da das System keine Hilfsenergie benötigt und sich Änderungen der Rohrleitungssystemparameter selbstständig anpasst, ist es auch für bereits existierende Anlagen besonders geeignet.

2 Druckstöße und Kavitationsschläge in Rohrleitungen

Durch Regel- und Stellvorgänge, An- und Abfahrprozesse und Betriebsstörungen treten in verfahrenstechnischen Anlagen erhebliche Durchsatz- und Druckschwankungen auf. Das Leitungssystem wird erhöht belastet und stellt somit ein Sicherheitsrisiko dar. Stromaufwärts einer schließenden Armatur führt dies zu Druckstößen, während es stromabwärts der Armatur zu Kavitationsschlägen führt.

Typische Szenarien für das Entstehen von Druckstößen sind das schnelle Schließen einer Armatur bei Ausfall der Hilfsenergie und schnelle Regel- und Stelleingriffe. Stromaufwärts der Absperrstelle wird kinetische Energie in potentielle Energie umgewandelt, was sich in kurzzeitigen Druckanstiegen (Druckstößen) äußert [1]. Dies kann anhand eines Beispiels verdeutlicht werden. In einer horizontal verlegten überirdischen Rohrleitung mit der Größe DN 200 von der Länge 500 m, in der Wasser bei Umgebungstemperatur mit 3 m/s fließt, kann der Druck durch schnelles Absperrern vom stationären Betriebsdruck von 6 bar auf 40 bar ansteigen. Analog wird die Kraft, die ein Festpunkt mit z. B. 1 – 5 kN als Gewichtskraft stationär aufnehmen muss, kurzzeitig auf 125 kN ansteigen.

Die Transportflüssigkeit fließt hinter der schließenden Armatur aufgrund ihrer Trägheit zunächst annähernd mit Ausgangsgeschwindigkeit weiter. Dabei sinkt der Druck stromabwärts der Absperrstelle, und es bilden sich

* Dr.-Ing. A. DUDLIK, Dipl.-Ing. S. B. H. SCHÖNFELD, Dipl.-Ing. R. MÜLLER, Fraunhofer Institut UMSICHT, Osterfelder Straße 3, D-46047 Oberhausen.

großräumige, expandierende Dampfblasen. Der Druck an der Absperrstelle fällt bis auf den Sättigungsdruck der Flüssigkeit ab und ist somit kleiner als der Systemdruck. Dadurch wird die Flüssigkeitsströmung verzögert und schließlich in Richtung der Absperrstelle beschleunigt (Strömungsumkehr). Die vorher gebildeten Dampfblasen kondensieren schnell; die Flüssigkeit prallt auf die geschlossene Armatur. Der hierbei entstehende Druckstoß wird als *Kavitationsschlag* bezeichnet. Die Amplitude des ersten Kavitationsschlages stromabwärts der Absperrstelle ist annähernd so groß wie die des ersten Druckstoßes stromaufwärts.

3 Bekannte Maßnahmen zur Vermeidung von Druckstößen

Bekanntere Möglichkeiten zur Vermeidung von Druckstößen in Rohrleitungssystemen sind z. B. die Anwendung von Windkesseln, Wasserschlossern, Blasen speichern sowie die Verlängerung der Schließ- bzw. Öffnungszeit [2]. Die letztere gilt als die einfachste und vielfach günstigste Methode. Es ist jedoch aufgrund der technischen und rechtlichen Anforderungen beim Betrieb von Rohrleitungen in der chemischen Industrie und in Kraftwerken nicht immer möglich, den Absperrvorgang undefiniert zu verzögern.

Windkessel, Wasserschlosser oder Blasen Speicher sind zu verwenden, wenn man das Leitungssystem nicht auf eine Druckstufe auslegen will. Diese Applikationen werden in unmittelbarer Nähe stromaufwärts der Absperrarmatur installiert. Beim Absperrn fließt das Medium in den Speicher hinein und wird dadurch abgebremst.

Eine weitere Möglichkeit besteht in der Erweiterung von Armaturenantrieben um Einrichtungen, die den Schließvorgang verzögern, sobald etwa das letzte Drittel des freien Strömungsquerschnitts erreicht wird. Dies können Stoßdämpfer sein (häufig bei Rückschlagklappen verwendet) oder programmierbare Stellungsgeber (Positioner). Es existieren ebenfalls einige patentrechtlich geschützte Erfindungen, die z. B. auf der MSR-gestützten Steuerung von Armaturen [3] oder auf Umlenkmechanismen beruhen. Die industrielle Anwendung dieser Verfahren ist jedoch den Autoren nicht bekannt.

4 Neue Maßnahmen zur Vermeidung von Druckstößen

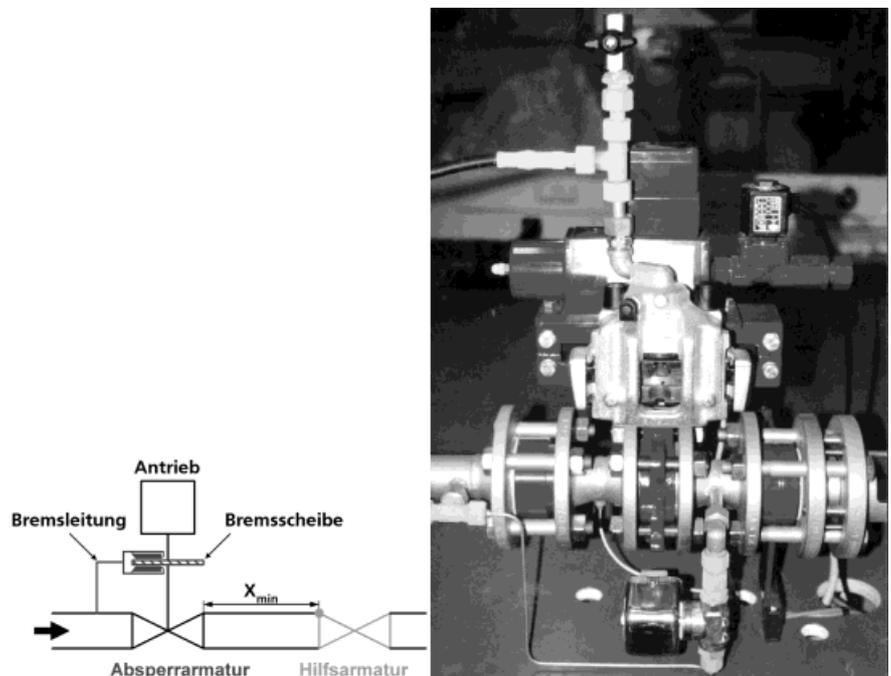
4.1 Druckstoßvermeidung mit ABS-Armatur

Bei Fraunhofer UMSICHT in Oberhausen werden seit Jahren experimentelle (an der UMSICHT eigenen Druckstoß-Versuchsanlage) und theoretische Untersuchungen

zur Verdeutlichung des Schadensausmaßes von Druckstößen und Kavitationsschlägen in der Praxis sowie zu deren Vermeidung durchgeführt. Die Messgrößen Druck, Kraft, Geschwindigkeit und Phasenverteilung werden in hoher zeitlicher Auflösung (1 – 5 kHz) erfasst, die Messergebnisse werden anschließend mit den Vorhersagen kommerzieller Berechnungssoftware verglichen. Als Ergebnis dieser Untersuchungen werden u. a. neue Methoden zur Vermeidung von Druckstößen und Kavitationsschlägen entwickelt.

Eine neue Methode besteht darin, eine anpassungsfähige Steuerung auf die in der Leitung bereits vorhandene Armatur aufzubauen. Zu diesem Zweck ist die Absperrarmatur mit einem hydraulischen Bremssystem („ABS-Armatur“) ausgerüstet, das auf die Antriebsachse der Armatur, z. B. eine Klappe, einwirkt (s. Abb. 1).

Abbildung 1. Links: Schema einer ABS-Armatur mit der Hilfsarmatur (Rückschlagklappe); rechts: ABS-Armatur.



Das hydraulische Bremssystem besteht im Wesentlichen aus Bremsleitung, Bremsbacken und Bremscheibe, die mit der Drehachse der Absperrklappe fest verbunden ist. Der Bremszylinder der hydraulischen Scheibenbremse wird mit der Rohrleitung stromaufwärts des Ventils verbunden, so dass der Flüssigkeitsdruck in der Leitung die Bremse aktiviert. Hierdurch wird der Schließvorgang verzögert, wenn der Flüssigkeitsdruck zunimmt. Die Druckspitze ist auf einen vom Benutzer gegebenen Maximaldruck beschränkt.

In Abb. 2 wird der Vorteil des Einsatzes einer ABS-Armatur erläutert. Abb. 2 verdeutlicht, dass die ABS-Armatur vom stationären Fließstrom unabhängig ist und die Druckschwankungen auf den erlaubten Maximaldruck beschränkt sind. Dieser Maximaldruck kann mechanisch im voraus (in diesem Beispiel etwa 10 – 15 bar) eingestellt werden. Der Schließvorgang ist hiermit optimiert.

Abbildung 2.
Zeitlicher Druckverlauf beim schnellen Absperren einer Wasserleitung ohne (links) bzw. mit ABS-Bremssystem.

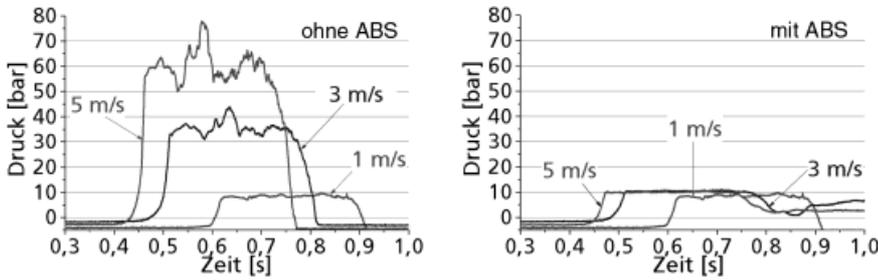


Abbildung 3.
Zeitlicher Kraftverlauf beim schnellen Absperren einer Wasserleitung ohne (links) bzw. mit ABS-Bremssystem.

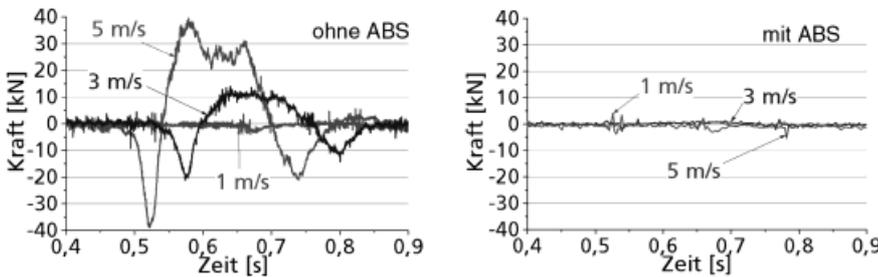
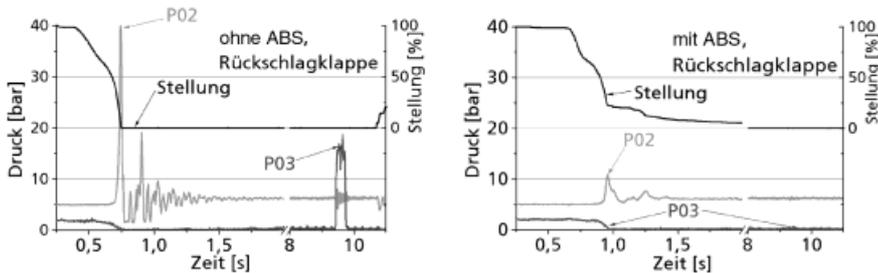


Abbildung 4.
Die zeitliche Verläufe von Druck und Ventilstellung stromaufwärts und stromabwärts der Absperrarmatur ohne (links) bzw. mit ABS-Bremssystem und Rückschlagklappe; $v_0 = 4,0 \text{ m/s}$.



Die Armatur schließt so schnell wie möglich, ohne eine vorher eingestellte Maximalbelastung des Leitungssystems zu überschreiten. Wie in Abb. 3 dargestellt, gilt dies nicht nur für den Leitungssinnendruck, sondern auch für den Lasteintrag in Rohrhalterungen (hier: Festpunkt 100 m stromaufwärts der Absperrarmatur).

Das beschriebene System benötigt keine zusätzliche Energiequelle. Weiterhin passt es sich an Änderungen der Rohrsystemparameter wie z. B. veränderliche Rohrleitungslänge, Strömungsgeschwindigkeit oder physikalische Eigenschaften der Flüssigkeit selbsttätig an. Diese ist bei klassischen Dämpfungssystemen, die den Ventilschluss verschieben, nicht der Fall. Somit gilt diese neue Methode auch für bereits existierende Anlagen als besonders vorteilhaft.

4.2 Vermeidung von Kavitationsschlägen

Zur Vermeidung von Kavitationsschlägen stromabwärts der Absperranrichtung wird als Hilfsarmatur eine Rückschlag-

klappe eingesetzt. Beim Schließen des Hauptventils wird die Kavitationsblase zwischen den beiden Armaturen eingeschlossen. Durch kleine Bohrungen in der Rückschlagklappe oder durch langsames Wiederöffnen des Hauptventils kann die Kavitationsblase wieder aufgefüllt werden.

Durch die Kombination der beiden Methoden ist eine Möglichkeit gegeben, Druckstöße sowohl stromaufwärts als auch stromabwärts schnell schließender Armaturen zu vermeiden. Die Druckstöße werden somit reduziert, während Kavitationsschläge infolge Dampfblasenzerfall völlig vermieden werden.

Die zeitliche Abhängigkeit von Druck und Ventilstellung ist in Abb. 4 dargestellt. Zur besseren Darstellung sind die Druckmessprotokolle von P02 (stromaufwärts) und P03 (stromabwärts) in dieser Abbildung um 3 bar verschoben dargestellt. Ebenfalls wird die Messzeit der Versuche mit bzw. ohne Bremse um 0,5 s zeitlich verschoben. Es ist deutlich zu erkennen, dass beim Versuch mit Bremse und Hilfsarmatur stromaufwärts ein Maximaldruck von 10 bar erreicht wird, während die Dampfblase stromabwärts der Armatur nicht kollabiert und der Druck auf Sättigungsdruck verharret, bis die Hauptarmatur langsam wieder geöffnet wird oder die Dampfblase langsam durch Bohrungen in der Scheibe der Rückschlagklappe wieder aufgefüllt ist.

Der ausgeführte Ventilschließungsprozess ist immer der schnellste ohne das Risiko des Rohrschadens. Beide

Methoden in Kombination wie auch jede für sich sind passive Sicherheitssysteme für jedes Rohrsystem.

Eingegangen am 9. August 2001 [K 2917]

Literatur

- [1] WYLIE, E. B.; STREETER, V. L.; SUO, L. Fluid Transients in Systems; Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey/USA 1993.
- [2] KOTTMANN, A. Druckstoßermittlung in der Wasserversorgung (Herg.: MOSER, H.), Schriftenreihe Wasserversorgungs- und Abwassertechnik, Vulkan-Verlag, Essen 1992.
- [3] FROELICH, K.-P. DDR Wirtschaftspatent Nr.: DD-PS 201041/4.