

Druckstöße und Kavitationsschläge in Versorgungsrohrleitungssystemen

Einführung

Durch schnelle Änderungen der Strömungsgeschwindigkeit in Rohrleitungen aller Art entstehen Druckschwankungen, die den Auslegungsdruck der Leitung erheblich *über-* als auch *unterschreiten* können. Dem Betriebsingenieur fallen diese Druckschwankungen in der Regel als laute Schläge und ruckartige, kurzzeitige Bewegung von Leitungsabschnitten auf.



Abb. 1 Durch Druckstöße verursachte Schäden an einer Rohrbrücke (links, von der Halterung gesprungene Leitung, rechts: beschädigtes Auflager)

Diese als Druckstöße und Kavitationsschläge (bzw. Wasserschläge) bekannten Vorgänge werden im Allgemeinen durch die folgenden üblichen Betriebsvorgänge in Anlagen ausgelöst:

- Pumpen An- und Abfahren
- schnelle Regelvorgänge von Armaturen
- Wiederinbetriebnahme von Anlagen und Anlagenabschnitten
- Leckage von Dichtungen und / oder Absperrarmaturen

Die aus diesen Vorgängen resultierenden Druck- und Kraftspitzen übersteigen die Auslegungsgrößen des - üblicherweise für stationäre Betriebsbedingungen ausgelegten - Systems bei weitem und führen häufig zu den in **Abb. 1** dargestellten Schäden an Leitung und Halterungen. Aber auch schon geringere Schwankungen belasten Dichtungen und Messtechnik und können ebenfalls Ursache von Regelungsproblemen und geringer Lebensdauer von Leitungskomponenten sein.

Berechnung

Die Berechnung der Vorgänge ist je nach Betriebsbedingungen der Anlagen z.T. komplex, da neben den Haupteinflussgrößen

- Strömungsgeschwindigkeit
- Dichte
- Temperatur
- Schallgeschwindigkeit der Flüssigkeit
- Leitungslänge und
- Ventilschließzeit

häufig weitere Parameter nicht bekannt sind:

- Armaturen- und Pumpencharakteristik¹
- Anteil von gelösten Gasen in der Flüssigkeit
- Strömungsform (Pfropfen-, Kolben-, Blasenströmung etc.)
- Elastizität der Halterungen usw.
- Reibungskoeffizienten zwischen Flüssigkeit und Rohrwand sowie in Gleitlagern.

Hinzu kommen Eigenschaften des angewandten Berechnungsprogramms wie numerische Diffusion oder Oszillationen, die bei der Vorhersage die real auftretenden Lastspitzen glätten oder auch zu hoch berechnen können.

¹ Die Armaturencharakteristik ist ein entscheidendes Einflusskriterium. Bei der Berechnung des maximal auftretenden Druckstoß nach Joukowsky [5] kann auch bei wesentlich längeren Schließzeiten als der theoretisch zu erwartenden noch der volle Joukowsky-Stoß auftreten. Dies liegt an den je nach Armaturentyp unterschiedlichen Strömungsbedingungen bei der Drosselung [6, 7].

Eine typische, standardmäßige Berechnung eines Ventilschnellschlusses in einer Wasserleitung der Nennweite DN100 ist in Abb. 2 *links* dargestellt. Man erkennt, dass die Übereinstimmung von gemessenem zeitlichem Druckverlauf (schwarzer Kurve) und Berechnungsprogramm (rote Kurve) nicht besonders gut ist. Es werden neben Fehlern in der Frequenz der Kavitationsschläge mehrere Druckstöße berechnet, die in der Realität nicht vorkommen. Abb. 2 *rechts* zeigt eine Berechnung mit verbesserten Modellen (numerische Stabilisierung -blau-, Berücksichtigung von Entgasung bei Druckabfall -rot-). Die Vorhersage ist diesmal weitaus besser gelungen.

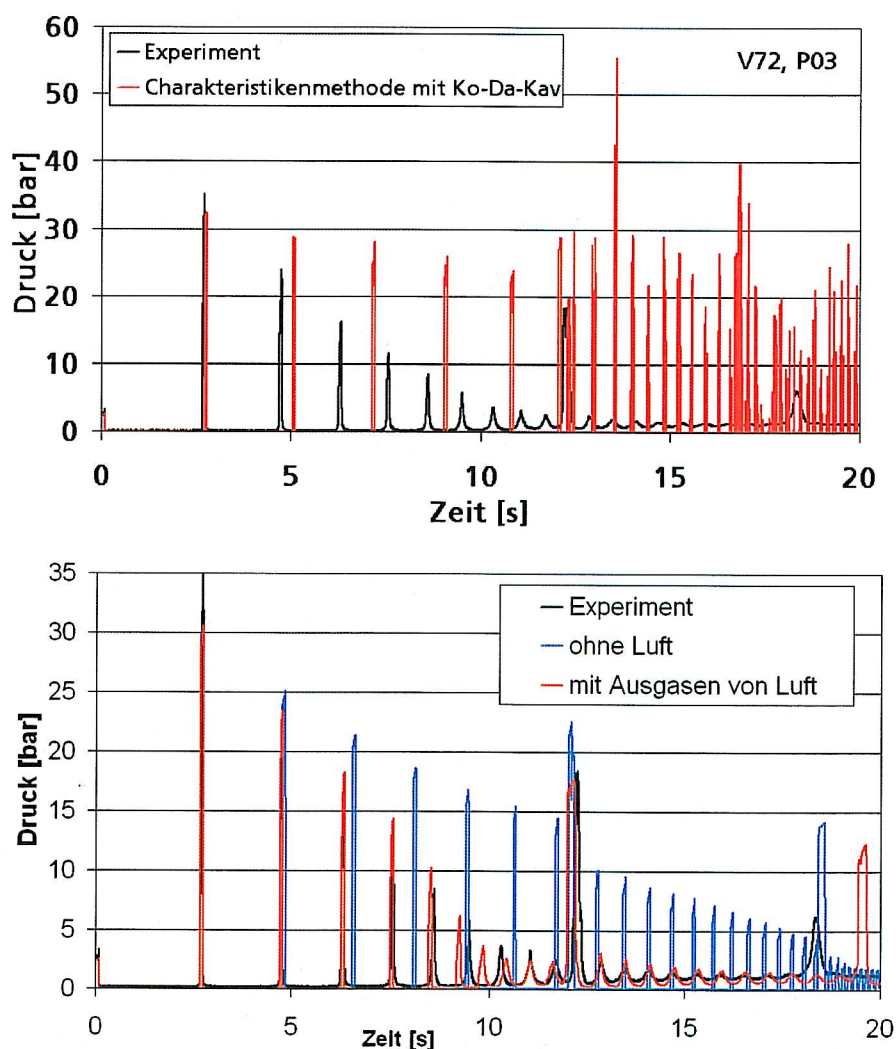


Abb.2: Zeitlicher Druckverlauf stromabwärts einer Wasserleitung, Standardmodell (links) und verbesserte Numerik und Modellierung (Luftentgasung) [1]

Die optimale Berechnung von dynamischen Strömungsvorgängen in Rohrleitungen ist jedoch immer auf den Einzelfall abzustimmen und hängt im Wesentlichen von der Erfahrung des Berechnungsingenieurs ab. Parametereinstellungen, die in einer Trinkwasserversorgungsleitung zu guten Ergebnissen führen, können in Leitungen eines Wasserkraftwerkes schon zu völlig falschen Ergebnissen führen (unterschiedliche Druckniveaus).

Aus diesem Grund finden in den letzten Jahren Bestrebungen statt, technische Regeln zur dynamischen Strömungsberechnung in Rohrleitungen zu erstellen. Deutschsprachige Richtlinien (DVGW [2], VDI [3]) sind derzeit im Entwurfstadium.

Vermeidung

Methoden zur Vermeidung sind u.a.

- Einsatz von Wasserschlössern, Blasenspeichern oder Windkesseln [4]
- Ermittlung optimaler Schließvoränge von Armaturen [5]
- Verringerung von Strömungsgeschwindigkeiten durch Nennweitenerhöhung
- Auslegung des Systems auf höhere Lasten
- Schwungrädern an Pumpenwellen
- spezielle, gedämpfte Armaturen oder -antriebe mit und ohne Hilfsenergie [6, 7] (z. B. ABS-Armatur, s. Abb. 3)

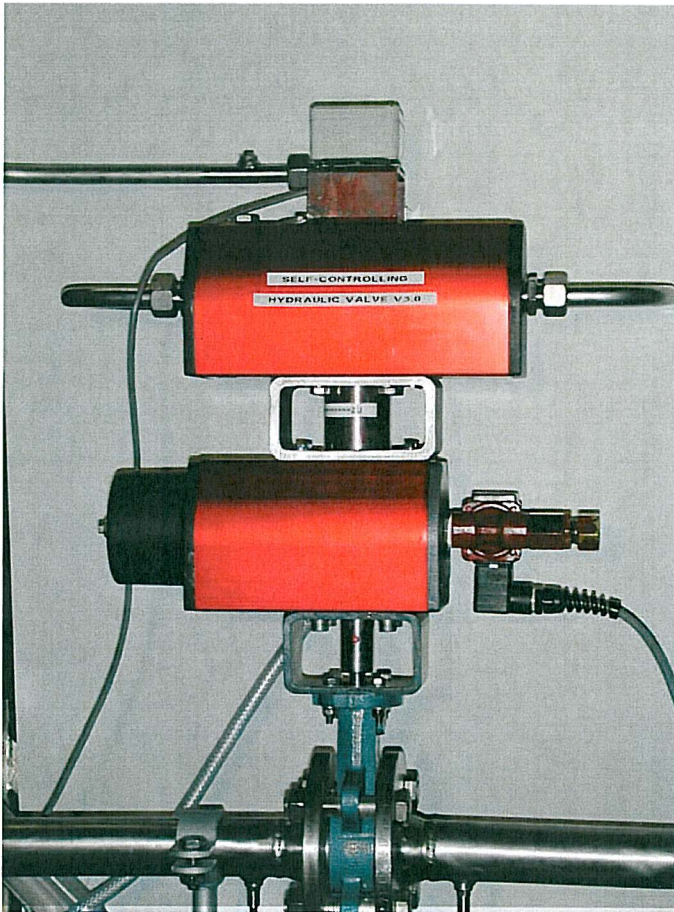


Abb.3: ABS-Armatur zur Vermeidung von Druckstößen in Rohrleitungen [6, 7]

Generell ist – wie bei Berechnung von Leitungsnetzen - auch die Wahl der optimalen (also kostengünstig, bei hoher Anlagenverfügbarkeit) Vermeidungsmethode in der Regel im Einzelfall auf den jeweiligen Produktionsbetrieb zugeschnitten.

Literatur:

- [1] Neuhaus, T.; Dudlik, A.; Fahlenkamp, H.; „Examination of Numerical Methods and Physical Modelling of Condensation Induced Water Hammer Including Gas Release“; The Practical Application of Surge Analysis for Design and Operation, 9th International Conference on Pressure Surges, Chester 3/2004, pp. 569-580
- [2] DVGW Arbeitsblatt 303 „Dynamische Druckänderungen in Wasserversorgungsanlagen“; DVGW, Bonn; August 2003

- [3] VDI 6006 „Druckstöße in Trinkwasseranlagen; Ursachen und Vermeidung“; VDI-Gesellschaft Technische Gebäudeausrüstung; Fachbereich Sanitärtechnik; Ausschuss VDI 6006

- [4] E. B. Wylie, V. L. Streeter und L. Suo, Fluid Transients in Systems, Prentice Hall, Englewood Cliffs 1993

- [5] H.-B. Horlacher, H.-J. Lüdecke: Strömungsberechnung für Rohrsysteme, expert Verlag, Ehningen bei Böblingen, 1992

- [6] H.-M. Prasser, A. Dudlik, S. B. H. Schönfeld, A. Apostolidis, S. Schlüter ,
“Sichere Rohrleitungssysteme: Vermeidung von Druckstößen und Kavitationsschlägen“ Technische Überwachung Bd. 43 (2002) Nr. 6 – Juni 2002, s. 10 – 12

- [7] Internet: www.rohrleitungstechnologie.de