

# Schlussbericht

---

zu IGF-Vorhaben Nr. 19267 N/1

## Thema

Experimentelle und numerische Untersuchungen der Interaktion von Pumpe und Anlage mit besonderer Berücksichtigung der Klärung und Vermeidung von Schäden durch Kavitationsrückbildungsstöße am Beispiel von oszillierenden Verdrängerpumpen.

Kurztitel: Druckstöße und Schwingungen in Pumpensystemen

## Berichtszeitraum

01.07.2017 - 31.12.2019

## Forschungsvereinigung

Forschungskuratorium Maschinenbau e.V.

## Forschungseinrichtung(en)

Lehrstuhl für Prozessmaschinen und Anlagentechnik (IPAT),  
Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

Lehrstuhl für Hydraulische Strömungsmaschinen (HSM), Ruhr-Universität Bochum

Prof. Dr.-Ing. Eberhard Schlücker

Prof. Dr.-Ing. Romuald Skoda

Bochum, 08.05.2020

---

Ort, Datum

---

Name und Unterschrift aller Projektleiterinnen und Projektleiter der  
Forschungseinrichtung(en)

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

## Kurzfassung

Druckpulsationen und Druckstöße können Bauteile von Pumpensystemen zu Schwingungen und Resonanzen anregen und Funktionsstörungen, Lärm und Schäden verursachen. Bei verfügbaren Strömungsberechnungsverfahren, die für präventive Pulsationsstudien der Anlage eingesetzt werden, wird die oszillierende Verdrängerpumpe (OVP) vereinfacht als Pulsationsgenerator betrachtet. Rückwirkungen der Anlage auf die Kavitation werden nicht betrachtet, und die Entstehung und Fortpflanzung von Kavitationsrückbildungsstößen wird vernachlässigt. Trotz konservativer Auslegung kommt es daher immer wieder zu Schäden an Pumpe und Anlage, die im Zusammenhang mit Kavitation und den spezifischen Eigenschaften der Anlage stehen. Durch einen kombinierten experimentellen und numerischen Ansatz sollen Wirkzusammenhänge zwischen Kavitation in der Pumpe, Pulsations- und Druckstoßfortpflanzung in der Anlage und die strömungsmechanische Strukturschwingungsanregung aufgedeckt und existierende Strömungsberechnungsprogramme und Auslegungskriterien verbessert werden.

Unter Variation des Leitungssystems in einer OVP-Anlage wurden in Erlangen Messdaten erhoben, um das Verständnis der Abhängigkeit der Kavitationsphase von den saugseitigen Anlagenparametern zu vertiefen. Es konnten diverse Interaktionen, besonders hinsichtlich der Schwingenspektren, quantifiziert werden. Bei Auftreten von Kavitation in der Saugleitung wurde ein Einbrechen der Schwingfrequenzen beobachtet. Darüber hinaus konnten Abhängigkeiten des Kavitationsverhaltens von Parametern der Saugleitung, d.h. Art und Umfang der verbauten Komponenten wie z.B. Blasenspeicher und Drosselstellen aufgezeigt werden. Die Wellenausbreitung in der Rohrleitung ist saugseitig dabei geringer als erwartet, unabhängig davon, welche Anlagenvariante untersucht wird. Die Wellen klingen sehr schnell ab und haben daher im Experiment wenig Einfluss auf die Grundcharakteristik der kavitierenden Pumpe. Es ist davon auszugehen, dass dissipative Strukturinteraktionen und freie Luftblasen im System das hohe Maß an Dämpfung begünstigen.

Die Messdaten dienen auch zur Validierungen des Berechnungsverfahrens. In Bochum wurde eine gekoppelte 3D (kavitierende Pumpenströmung) und 1D (Anlage) Simulationsmethode zur ganzheitlichen Berechnung der OVP-Anlage entwickelt, mit der sich die experimentell ermittelten Entstehungs- und Rückbildungsmechanismen der Kavitation im dreidimensional modellierten Arbeitsraum der OVP nachvollziehen ließen. Das Separieren der Einzeleinflüsse von Anlagenkomponenten im Experiment war jedoch nur bedingt möglich, sodass kein ganzheitliches Abbild der Leitungsakustik in der 1D Anlagensimulation realisiert werden konnte. Daher wurde im Rahmen der 3D-1D Simulation eine Methode erarbeitet, um den gesamte Anlageneinfluss anhand des gemessenen Arbeitsraumdrucks im Pumpenbetrieb abzuleiten und über die Anpassung einer teilreflektierenden Randbedingung zu modellieren. Über eine Anpassung der Kompressibilität über den freien Luftgehalt der Förderflüssigkeit und anhand des gemessenen Druckverlaufs im Arbeitsraum konnte das Abbild des gesamten hydraulischen Systems dem Experiment angenähert werden. Auf diese Weise lassen sich mehrere Förderzyklen simulieren, sodass sich das System synchron einschwingen kann und evtl. Zyklusschwankungen in der Simulation abgebildet werden können. So konnte aus der Simulation auch indirekt auf den Luftgehalt in der Messung geschlossen werden. Die Unterdruckspitze bei Saugventilöffnung wird in der Simulation überschätzt. Mangelnde Dichtheit der Ventile konnte durch einen entsprechenden 3D-Modellierungsansatz als Grund für die Abweichung ausgeschlossen werden.

Zusammenfassend konnten mit Hilfe des kombinierten experimentell-numerischen Ansatzes wichtige Wechselwirkungen der OVP-Anlage beschrieben und mit dem Industriearbeitskreis erörtert werden. Zum Transfer steht neben dem in diesem Bericht dokumentierten Erkenntnisgewinn ein vereinfachtes und schnell rechnendes 1D-1D Rechenverfahren zur Verfügung, mit dem sich die Entstehungs- und Rückbildungsmechanismen der Kavitation in Abhängigkeit von Anlagenparametern nachvollziehen lassen.

Zur weiteren Detaillierung der 3D-1D-Simulation sollte vor allem das Ventilmodell verbessert werden. Einerseits sollte die Haftkraft in der 3D-Methode modelliert und somit die Saugspitze realitätsnäher aufgelöst werden. Andererseits ist davon auszugehen, dass sich im Experiment die Kompressibilität durch Luftausgasung lokal erhöht und der Bildung einer ausgeprägten Saugspitze entgegenwirkt. Eine Berücksichtigung der Ausgasung in Form einer variablen Kompressibilität kann daher zukünftig das Simulationsverfahren weiter verbessern

**Hinweis:**

Weitere Informationen und der Schlussbericht zu diesem Vorhaben können bezogen werden über:

Das Forschungskuratorium  
Maschinenbau e.V. (FKM)



Lyoner Str. 18  
D 60528 Frankfurt am Main  
[www.fkm-net.de](http://www.fkm-net.de)  
[info@fkm-net.de](mailto:info@fkm-net.de)

Den Forschungsfond Pumpen



Lyoner Str. 18  
D 60528 Frankfurt am Main  
[pu.vdma.org](http://pu.vdma.org)  
[harald.frank@vdma.org](mailto:harald.frank@vdma.org)