

Schlussbericht vom 31.01.2023

zu IGF-Vorhaben Nr. 20395 N

Thema

Numerische Vorhersage des zeitlichen Verlaufes kavitationsbedingter Erosionsschäden zur Erhöhung der Lastflexibilität von Kraftwerkspumpen und Pumpen hoher Leistungsdichte bei gleichzeitig hoher Lebensdauer (Kavitationserosion in Pumpen)

Berichtszeitraum

01.04.2019 - 30.09.2022

Forschungsvereinigung

Forschungskuratorium Maschinenbau e.V. - FKM

Forschungseinrichtung(en)

Ruhr-Universität Bochum

Institut für Thermo- und Fluidodynamik

Lehrstuhl für Hydraulische Strömungsmaschinen

Universitätsstraße 150

44801 Bochum

Technische Universität Darmstadt

Institut für Fluidsystemtechnik

Otto-Berndt-Straße 2

64287 Darmstadt

Gefördert durch:

Zusammenfassung

Das Vorhaben umfasst die experimentelle und numerische Untersuchung von kavitationsinduzierter Erosion in Pumpen. Ziel war es, ein Tool in Form eines Rechenverfahrens zu entwickeln, welches bereits im Auslegungsprozess von Kreiselpumpen einbezogen werden kann, um Schädigungseffekte durch Kavitationserosion berücksichtigen zu können. Das Ergebnis ist die quantitative Prognose von Inkubationszeiten und Abtragsraten.

Die Forschungsstelle (FSt) Darmstadt führte die experimentellen Arbeiten durch, welche im Wesentlichen die Erarbeitung von qualitativen und quantitativen Erosionsdaten für das Circular Leading Edge (CLE) Profil für realitätsnahe aggressive Strömungszustände in Pumpen umfassten. Die einphasige Strömung wurde mittels Laser-Doppler-Anemometrie sowie Particle Image Velocimetry untersucht, die zweiphasige mittels Hochgeschwindigkeitsmessungen sowie hochfrequenten piezoelektrischen Sensoren. Mehrere Methoden, unter anderem Deep Learning, Wavelets sowie Modalanalyse, wurden auf die Daten angewandt, um charakteristische zeitliche Frequenzen sowie räumliche Moden zu identifizieren und quantitative Größen zur Validierung der Simulation zu haben. Die „Antwort“ des Werkstoffes auf die Kavitation wurde mittels Pit-Count-Mikroskopie als auch Langzeit-Massenabtragsmessungen quantifiziert. Mittels Pits konnten in der frühen Phase innerhalb der Inkubationszeit Aggressivität und Schädigungsort identifiziert werden. Auf Basis dieser Messungen wurde dann ein Versuchsplan für die Massenabtragsmessungen erzeugt, und mittels Bayesscher Statistik die Inkubationszeit sowie Abtragsrate bestimmt und die Unsicherheit quantifiziert.

Die Entwicklung des 3D-Rechenverfahrens für die quantitative Erosionsbewertung wurde an der FSt Bochum entwickelt. Im Rahmen des Projektes wurde mit einem impliziten Verfahren für die Strömungslösung gearbeitet, welches die Berechnung von erosiven Pumpenströmungen im industriellen Maßstab durch vergleichsweise kurze Rechenzeiten ermöglicht. Somit wurde eine Industrietauglichkeit der entwickelten Methode sichergestellt. Die Strömungslösungen der schnell rechnenden Impliziten Methode wurden an denen der aufwendigeren Direkten Methode (Referenzlösungen) abgeglichen. Dieser Abgleich erfolgte sowohl an Testfällen aus der Literatur (Sonotrode und Prallversuch), als auch an dem Haupttestfall in diesem Projekt, dem CLE-Profil. Auf Basis einer abgesicherten Strömungslösung der relevanten Testfälle wurde eine physikalisch motivierte, semi-empirische Erosionsbewertung entwickelt, welche an o.g. Literaturtestfällen kalibriert werden konnte. Für die, sich deutlich unterscheidende, Strömungsform am CLE-Profil wurden weiterführende Erosionsbewertungs-Modelle abgeleitet und an quantitativen Erosionsdaten der FSt Darmstadt für verschiedene Betriebspunkte kalibriert. Der modulare Charakter der entwickelten Erosionsbewertung und die damit einhergehende Austauschbarkeit von Strömungslösungsverfahren, ermöglichte bereits innerhalb des Projektes eine Anwendung der quantitativen Erosionsbewertung auf Ergebnisse von Strömungslösungsverfahren aus der Industrie am Beispiel einer Pumpenströmung. Zu diesem Zwecke wurden zusammen mit dem projektbegleitenden Industrieausschuss (PA) Leitanwendungen definiert, an denen das Simulationsverfahren erprobt wurde.

Der kombiniert experimentell-numerische Ansatz war zielführend. Die Projektergebnisse mündeten in mehrere, mit dem PA abgestimmte wissenschaftliche Veröffentlichungen. Die in dem Projekt ermittelten und in dem Abschlussbericht ausführlich dokumentierten Projektergebnisse werden es den KMU ermöglichen, räumlich aufgelöste Schädigungsinformationen durch Kavitationseffekte durch die erarbeiteten Tools bewerten zu können. Die Projektziele wurden vollumfänglich erreicht.

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
info@fkm-net.de

Den Forschungsfond Pumpen



Lyoner Str. 18
D 60528 Frankfurt am Main
pu.vdma.org
harald.frank@vdma.org