

Fluid-Struktur-Wechselwirkung im Stahlwasserbau

Ursachen, Auswirkungen und Abhilfemaßnahmen bei strömungsinduzierten Schwingungen

1 Aufgabenstellung und Ziel

Strömungsinduzierte Schwingungen treten dann auf, wenn elastische oder elastisch gelagerte Körper derart umströmt werden, dass zeitliche oder örtliche Druckschwankungen in der Strömung anfachende Kräfte verursachen (Billeter, 1998). Hiervon können Dichtungen oder Teile von Verschlüssen an Wehren und Schleusen betroffen sein. Aktuelle Beispiele zeigen, dass auch das gesamte Verschlussorgan zu Resonanzschwingungen angeregt werden kann. Das Forschungsvorhaben wird von Experten aus den Bereichen Stahlwasserbau, Strömungs- und Strukturmechanik sowie Messtechnik umgesetzt. Ziel ist es, Ursachen und Mechanismen der strömungsinduzierten Schwingungen zu verstehen, bestehende Abhilfemaßnahmen zu prüfen und, wo erforderlich, neue Konstruktionsempfehlungen zu entwickeln. Dabei sollen insbesondere numerische Werkzeuge zur Fluid-Struktur-Interaktion weiterentwickelt werden.

2 Bedeutung für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)

Die Häufigkeit der Anfragen aus der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) zeigt, dass strömungsinduzierte Schwingungen nach wie vor ein Problem darstellen. Vor dem Hintergrund der geplanten Fernbedienung bzw. der Automatisierung von Wehren und Schleusen in Verbindung mit der geringeren Verfügbarkeit von erfahrenem Betriebspersonal vor Ort wird dieses Problem weiter an Wichtigkeit gewinnen. Dabei geht es letztendlich um die Sicherheit der Wehranlagen, da Schwingungen eine außergewöhnliche dynamische Beanspruchung darstellen, für welche die Verschlüsse nicht ausgelegt sind.

Grundsätzlich ist festzustellen, dass in den vergangenen Jahren Expertenwissen über strömungsinduzierte Schwingungen bei Fachplanern, Konstrukteuren und Betreibern verloren gegangen ist. Daneben sind auch einige Empfehlungen auf moderne Konstruktionen nicht übertragbar. So sind zum Beispiel die bis in die 1970er-Jahre gewonnenen Erkenntnisse zur Schwin-

Projekt-Nr.:

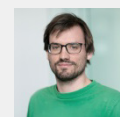
B3953.03.04.70006

Projektleiter:



Dr.-Ing. Michael Gebhardt
 michael.gebhardt@baw.de

Projektbearbeiter:



Georg Göbel M. Sc.
 georg.goebel@baw.de

Laufzeit:

04/2016 bis 04/2019

gungsoptimierung von Holzdichtungen heutzutage nahezu irrelevant, da praktisch nur noch Dichtungen aus Elastomeren eingesetzt werden. Diese bergen wiederum eine nicht zu vernachlässigende Schwingungsgefahr, insbesondere bei kleinen Öffnungsweiten. Immer häufiger zeigen sich auch Probleme mit Hohlkastenkonstruktionen, die heute in der Regel die alten Fachwerkkonstruktionen ersetzen, da sie große Vorteile in der Unterhaltung aufweisen.

3 Untersuchungsmethoden

Schwingungsmessungen vor Ort sind wichtig, um zwischen dem eigentlichen Erreger (Oszillator) und den mitschwingenden Bauteilen (Resonator) zu unterscheiden. So können die Ursachen identifiziert und die Schwingung in Amplitude und Frequenz charakterisiert werden. Zum Beispiel die neuen Stemmtore an den Neckarschleusen: Um die Ursache für die Schwingungen an den Füllschützen herauszufinden, wurden Sensoren unterschiedlicher Empfindlichkeit an verschiedenen Positionen des Tores installiert. Aus den Messsignalen wurden die dominanten Frequenzen (40 – 50 Hz) bestimmt, die durch eine Spaltströmung an der Kopfdichtung der Füllschütze induziert wurden. In enger Abstimmung mit dem Amt für Neckarusbau Heidelberg konnten so konstruktive Verbesserungen entwickelt werden.

Numerische Simulationen von Schwingungserscheinungen werden mit der Open Source Software OpenFOAM durchgeführt. Zum Einsatz kommt der Löser interDyMfoam, welcher die Interaktion von bewegtem Festkörper und Strömung mit freiem Wasserspiegel simuliert. Die Strömungsgleichungen für zwei nicht mischbare inkompressible Fluide werden mit der Finiten-Volumen-Methode (FVM) approximiert. Zur Lösung der Bewegungsgleichungen des Festkörpers kommt ein Leapfrog-Verfahren zum Einsatz. Verformungsfreiheitsgrade, wie zum Beispiel die Biegeform eines unterströmten breiten Schützes, werden dabei durch Feder-Masse-Modelle approximiert. Zur Kalibrierung des mechanischen Modells dienen Ergebnisse aus In-Situ-Messungen. Die Kopplung von Strömung und verformbarer Struktur kann mit dem Löser fsiFoam simuliert werden. Zur Berechnung der Strukturverformung wird ebenfalls die FVM angewendet, die Kopplung der beiden Löser erfolgt iterativ. Die Anwendung wird momentan am Beispiel von Dichtungsschwingungen getestet. Das Titelbild zeigt die Simulation einer geometrisch vereinfachten Elastomerdichtung im Druckfeld einer Strömung. Eine fachliche Überschneidung besteht hierbei zum FuE-Projekt „Entwicklung von Verfahrensweisen zur Simulation bewegter Objekte mit OpenFOAM“.

4 Ergebnisse

Im Rahmen umfangreicher Messungen am Neckar konnten neuralgische Details an der Kopfdichtung der Füllschütze identifiziert und verbessert werden. Die Resonanzschwingungen, die nach der Inbetriebnahme auftraten, konnten durch das Aufschießen von aussteifenden Vertikalrippen im Bereich der Füllschütze erfolgreich unterbunden werden. Diese Erkenntnisse fließen im Übrigen auch in die Standardisierung von Schleusen innerhalb der WSV ein. Daneben konnte am Beispiel des Weserwehres Dörverden ein Verfahren entwickelt werden, um bestehende Betriebsweisen auf die Gefahr strömungsinduzierter Schwingungen hin zu untersuchen. Das numerische Modell wurde auf Basis von Naturmessdaten kalibriert und verschiedene Betriebszustände (Öffnungsweite, Abfluss und Unterwasserstand) analysiert. Es zeigte sich, dass die im Normalbetrieb gefahrenen Zustände schwingungssicher sind, was durch weitere Messungen vor Ort bestätigt werden konnte (Göbel, im Druck). Das Verfahren wird aktuell an weiteren Projekten getestet (Göbel et al., im Druck). Eine umfangreiche Recherche zeigte auch, dass Resonanzfrequenz und Wellenbild häufig Rückschlüsse auf das schwingende Bauteil zulassen. So zeigt Bild 1 charakteristische Wellenbilder im Oberwasser eines schwingenden Sohldichtungsträgers an einem Hubschütz (18 Hz) und eines Hubschützes mit Aufsatzklappe, welches in der ersten Biegeform schwingt (1,5 Hz).



Bild 1: Wellenbild eines schwingenden Sohldichtungsträger (links) und eines Hubschützes mit Aufsatzklappe (rechts).

Literatur:

Billeter, P. (1998): Strömungsinduzierte Schwingungen von Schützen mit mehreren Freiheitsgraden, In: Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der Eidgen. Techn. Hochschule Zürich.

Göbel, G. et al. (in Druck): Numerische Modellierung zur Untersuchung strömungsinduzierter Schwingungen im Stahlwasserbau. In: Tagungsband zum BAWKolloquium. "Wasserbauliche Herausforderungen an den Binnenschiffahrtsstraßen". Karlsruhe, 26./27.10.2017.

Göbel, G. (in Druck): Numerische Simulation strömungsinduzierter Schwingungen im Stahlwasserbau. In: Mitteilungen des Forschungsinstituts Wasser und Umwelt der Universität Siegen.