

Strömungsinduzierte Schwingungen an Wasserbauwerken

von Michael Gebhardt¹, Georg Göbel, Martin Deutscher, Walter Metz und Carsten Thorenz

Kurzfassung

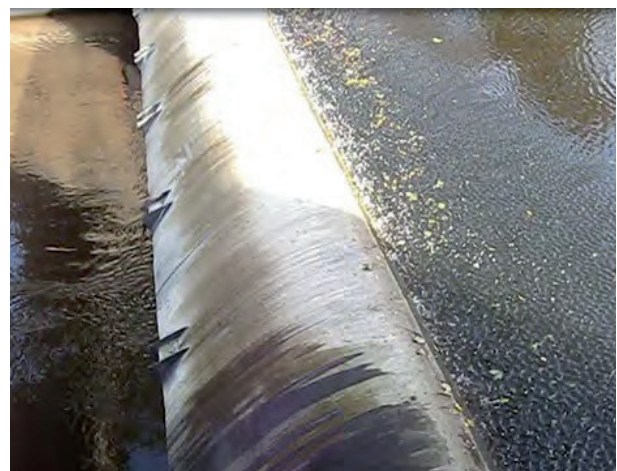
Trotz intensiver Forschungen in den zurückliegenden Jahrzehnten, wie z.B. von Naudascher und Rockwell (1994) oder von Kolkman und Jongeling (2007), bereiten strömungsinduzierte Schwingungen auch heute noch Probleme im Wasserbau. So treten Schwingungen nicht nur an alten, sondern auch an neuen Wehrverschlüssen auf, wie zum Beispiel an Drucksegmenten oder Füllschützen von Stemmtooren. Vor diesem Hintergrund initiierte die Bundesanstalt für Wasserbau ein Forschungs- und Entwicklungsvorhaben, um die unterschiedlichen Ursachen mit Hilfe von Naturmessungen im Betrieb und mit Hilfe von numerischen Modellen zu untersuchen. Ziel ist es, die Anregungsmechanismen zu identifizieren und die derzeitigen Standards zu verbessern (Göbel et al., 2018). In dem Beitrag werden Beispiele vorgestellt, bei denen Wehrverschlüsse oder Teile von Wehrverschlüssen durch Fluid-Festkörper-Interaktion zur Schwingung angeregt werden. Es werden typische Frequenzen für Schwingungen von Wehrverschlüssen, federgelagerten Dichtungssystemen und von elastischen Dichtungen vorgestellt. Für die Betreiber sind die Frequenzen hilfreich, um die Schwingungsquelle zu ermitteln und um dann bauliche oder betriebliche Verbesserungen einzuleiten.

Aufgrund der höheren Elastizität von weit gespannten Wehrverschlüssen können Biegeschwingungen auftreten, wenn der Verschluss durch Unter- oder Überströmung zur Schwingung angeregt wird (Ishii und Knisely, 1992). Ein Beispiel hierfür ist eine Wehranlage an der Weser in Norddeutschland, wo nach dem Öffnen des Wehrverschlusses um wenige Zentimeter Schwingungen beobachtet werden konnten. Bei dem 42 m breiten Hubschütz konnte eine Resonanzfrequenz von 1,5 Hz bestimmt werden. Die Messungen zeigten dass eine Biegeschwingung vorherrscht mit einem charakteristischen Wellenmuster im Oberwasser des Schützes (Abb. 1a). Mit Hilfe von numerischen Untersuchungen wurden die kritischen Zustände, d.h. verschiedene Öffnungsweiten in Kombination mit verschiedenen Unterwasserständen, bestimmt.

Normalerweise schwingen Wehrverschlüsse in einem einstelligen Frequenzbereich (Abb. 2b & d). Wenn unterströmte Wehrverschlüsse mit federgelagerten Dichtungssystemen ausgerüstet sind, bei denen die Dichtung gegen den Wasserdruck wirkt, neigen sie im Allgemeinen dazu, in geschlossener und leicht geöffneter Position zu schwingen, weil sie elastisch gelagert sind. Diese Bauausführungen sind sehr vielfältig, so dass die Resonanzfrequenz zwischen den verschiedenen Systemen variieren kann. Die Erfahrungen zeigen, dass die Resonanzfrequenz deutlich höher ist und sich in einem Bereich zwischen 15 und 40 Hz bewegt. Abbildung 1b zeigt das durch ein federgelagertes Dichtungssystem erzeugte Wellenmuster.



Abbildung 1: a) Schwingung eines Hubschützes mit Aufsatzklappe und



b) eines Dichtungssystems an einem absenkbaaren Hubschütz

¹ Bundesamt für Wasserbau, Deutschland, michael.gebhardt@baw.de

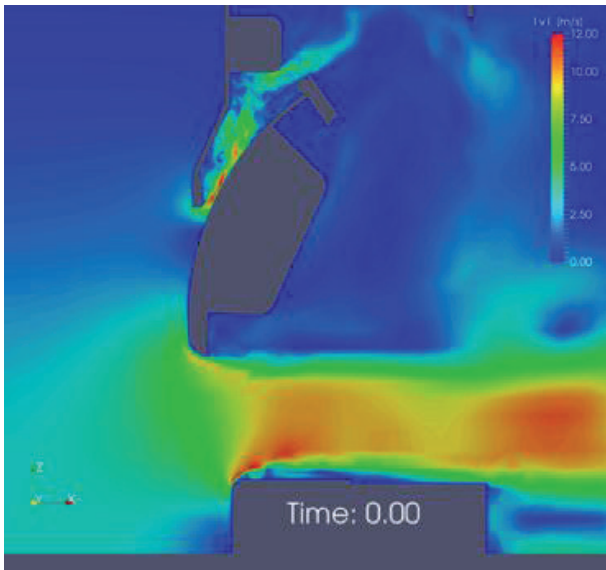
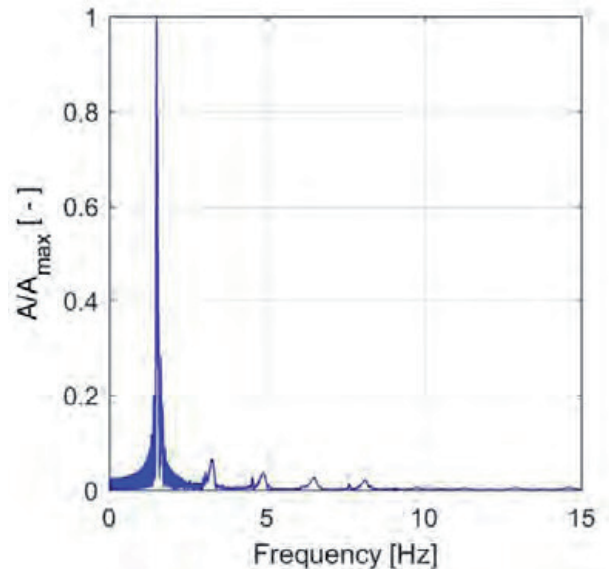


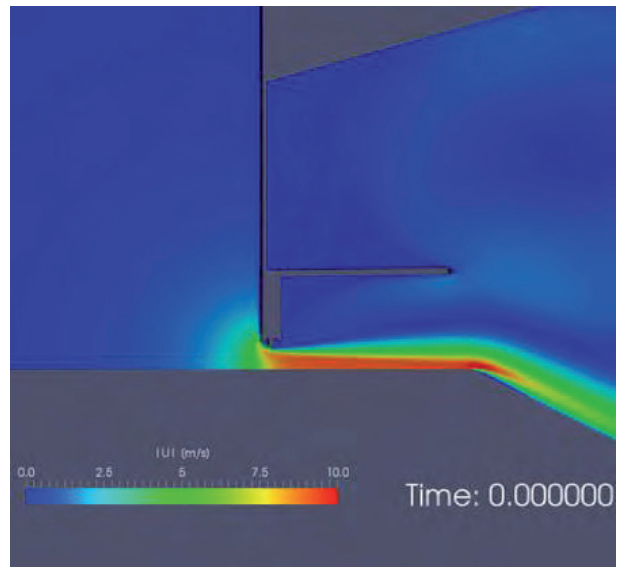
Abbildung 2: Angewandte Methoden: a) Numerische Simulation eines Füllschützes



b) Frequenzanalyse eines Messsignals



c) Beschleunigungssensor am Füllschütz eines Stemmtors und



d) numerische Simulation der Fluid-Festkörper-Interaktion eines Hubschützes

Dichtungen mit Notenprofilen besitzen bei sachgerechtem Einbau zahlreiche Vorteile. Durch die Flexibilität des Gummis passt sich die Dichtung unebenen Oberflächen an und erhöht so die Dichtigkeit. Naudascher und Rockwell (1994) haben bereits darauf hingewiesen, dass Notenprofile bei geringfügiger Öffnung oder bei Undichtigkeiten ebenfalls strömungsinduzierte Schwingungen hervorrufen können. Dichtungsinduzierte Schwingungen traten u.a. an einem neuen Stemmtor am Neckar auf (Abb. 2a). Hier kam es während der Inbetriebnahme bei der Öffnung des Füllschützes um wenige Zentimeter zu starken Schwingungen.

An dem Stemmtor wurden intensive In-situ-Messungen durchgeführt, um die Ursache der Schwin-

gungen zu ermitteln (Abb. 2b). Hierzu wurden an verschiedenen Stellen des Segmentschützes Sensoren angebracht, die übereinstimmend eine vorherrschende Frequenz von 40 Hz anzeigten. Aus dem Vergleich der Signale konnte geschlossen werden, dass die Schwingung an der Kopfdichtung auftrat. Aus diesem Grund wurde die Bauausführung verbessert.

Ein weiteres Beispiel für Dichtungsschwingungen ist ein neues Drucksegment mit Aufsatzklappe. Bei der Inbetriebnahme wurde ein durch Schwingungen ausgelöstes Brummen bei kleinen Öffnungsweiten festgestellt. Zur Bestimmung der Resonanzfrequenz der Schwingungen wurde die Tonaufnahme eines Videos analysiert. Die vorherrschende Fre-

quenz betrug 37 Hz, was gut in den Frequenzbereich von 35 bis 50 Hz für schwingende Notendichtungen passt. Nach Entfernung der Notendichtung war die Schwingung verschwunden.

Zusätzlich zu Feldmessungen und physikalischen Modellen stellen numerische Simulationen der Fluid-Festkörper-Interaktion (FSI) eine sehr vielversprechende Methode dar, um Probleme zu analysieren und Anlagen zu verbessern. Erste Anwendungen werden vorgestellt. Normalerweise werden zwei unabhängige Löser für das Fluid und für den Festkörper verwendet. An der Schnittstelle der Löser ist ein Informationsaustausch erforderlich. Zähigkeits- und Druckkräfte aus dem Fluidbereich werden als Randbedingung für den Festkörperbereich und die Verformung des Festkörpers als Randbedingung für den Fluidbereich festgelegt. Diese Methode wird als geteilter Ansatz bezeichnet und kommt bei dem Löser *fsiFoam* zur Anwendung, das in *OpenFOAM®* integriert werden kann (Göbel et al., 2017). Numerische Methoden sind von Vorteil, weil sie die Bewertung von Strömungsparametern an vor Ort schwer zugänglichen Stellen oder sogar in einem physikalischen Modell ermöglichen.

Literaturverzeichnis

Göbel, G.; Gebhardt, M.; Deutscher, M.; Metz, W. and Thorenz, C. (2018): Numerical and Physical Study on Seal Vibrations at Hydraulic Gates. 7. IWASA Internationales Wasserbau-Symposium, 15.-18. Mai 2018, Aachen.

Göbel, G.; Gebhardt, M.; Metz, W.; Deutscher, M. (2017): Numerische Modellierung zur Untersuchung strömungsinduzierter Schwingungen im Stahlwasserbau. Wasserbauliche Herausforderungen an den Binnenschiffahrtsstraßen. BAW-Kolloquium, 26.-27. Oktober 2017, Karlsruhe.

Ishii, N.; Knisely, C. W. (1992): Flow-induced vibration of shell-type long-span gates. In: Journal of Fluids and Structures 6 (6), S. 681-703.

Kolkman, P. A. and Jongeling, T. H. G. (2007): Dynamic behaviour of hydraulic structures. Delft: WL|Delft Hydraulics publication (Hydraulic Engineering Reports).

Naudascher, E.; Rockwell, D. (Hrsg.) (1980): Practical Experiences with Flow-Induced Vibrations. IWASA - IUTAM Symposium Karlsruhe 1979. Berlin, Heidelberg, New York: Springer.