



Doctoral Thesis

Influence of the Fluid-Structure Interaction on the Vibrations of Structures

Author(s):

Hengstler, Johannes A. N.

Publication Date:

2013

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-010039229> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Diss. ETH No. 21645

Influence of the Fluid-Structure Interaction on the Vibrations of Structures

A dissertation submitted to

ETH ZURICH

for the degree of
Doctor of Sciences

presented by

JOHANNES A. N. HENGSTLER

Dipl.-Ing., University of Stuttgart
born April 3rd 1982
citizen of Germany

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. J. Dual, examiner

Dr. M. Sick, co-examiner

Prof. Dr. T. Staubli, co-examiner

2013

Abstract

All structures are vibrating which can be desired or undesired. For industrial applications, it is important to know the vibration spectra of a product already in the design phase. While designing mechanical structures, design criteria and accurate simulation tools are needed. Unfortunately it is often not enough, to study the dynamics of a structure itself because of the influence of a surrounding fluid on the dynamics. As soon as the surrounding fluid influences the vibration behavior of a structure, the design process becomes more difficult.

The aim of this thesis is to give a deep insight into the influence of coupling effects on the dynamics of structures surrounded by a fluid. In view of the applications in water turbines, the fluid is assumed to be water. The fluid influences the eigenfrequency and damping of the structures. Nearby walls, a free water surface, and a flowing fluid are boundary conditions which are considered here. By means of numerical simulations, the eigenfrequencies and the damping factors are predicted and validated with experimental data.

The eigenfrequencies of different structures like beams, rectangular plates, and circular plates are investigated experimentally and compared to the results of literature values, analytical calculations, and numerical finite element simulations. The structures are immersed in water and excited with an electromagnetic coil to measure the frequency response with a laser scanning vibrometer system. Structures have in water a lower eigenfrequency and a higher damping than in air. Coupling effects like the presence of nearby walls were analyzed in detail by varying the boundary conditions of different plates. Nearby walls or a free water surface significantly influence the eigenfrequency of a structure. Compared to the eigenfrequency of a structure in an infinite water domain, a nearby wall lowers the eigenfrequency even further, while a free water surface increases the eigenfrequency. The coupling effects which are responsible for the influence on the eigenfrequency are explained by using a model with two identical circular plates with water in between.

For the finite element simulations of the eigenfrequencies of the structures in water, the commercial software ANSYS is used. The influence of the water on the eigenfrequency of the structures was approximated by using acoustic elements. A typical application of these acoustic elements is the dynamics of submerged structures. The governing equation therefore is the wave equation.

Damping values are experimentally obtained from structures in air and in water. The damping of plates increases for higher eigenfrequencies. Nearby walls increase the damping further. A circular water flow around a circular plate increases the damping additionally. Due to the computational effort, only damping values of experiments with an immersed beam are compared with simulations. A numerical two-way coupling simulation between computational fluid dynamics and structural analysis in the time domain using the commercial finite element simulation software ANSYS is performed. For the beam, the damping values of the first three bending modes are simulated and compared with experiments.

When a fluid flows in a circular fashion near a circular plate, a new phenomenon has been discovered. The eigenfrequencies of a circular plate split in the presence of a circular water flow near its surface. A circular plate is tested in an experimental rig where an electric motor set the water coaxial to the circular plate in rotation. For different rotational speeds the frequency response is measured with a laser scanning vibrometer system. The split of the eigenfrequencies has an upward trend with an increasing rotational speed. For a fluid-conveying pipe with periodic boundary conditions a similar phenomenon exists. There, an analytical model is able to predict the split.

Zusammenfassung

Alle Strukturen schwingen, ob erwünscht oder unerwünscht. Für die industrielle Anwendung ist es wichtig, das Schwingungsverhalten eines Produktes bereits in der Entwicklungsphase genau zu kennen. Bei der Entwicklung von mechanischen Bauteilen sind Auslegungsrichtlinien und genaue numerische Simulationen unerlässlich. Unglücklicherweise ist es oft nicht genug, das Schwingungsverhalten eines Bauteils für sich alleine zu betrachten, da dieses vom umgebenden Fluid beeinflusst werden kann. Und sobald das Schwingungsverhalten eines Bauteils vom umgebenden Fluid beeinflusst wird, wird die Produktentwicklung schwieriger.

Das Ziel dieser Arbeit ist ein tiefer Einblick in die Kopplungseffekte, die das Schwingungsverhalten von Strukturen, die von Fluid umgeben sind, beeinflussen. Denn ein umgebendes Fluid beeinflusst die Eigenfrequenz und die Dämpfung von Strukturen. Im Hinblick auf die Anwendung bei Wasserturbinen, wird als Fluid Wasser betrachtet. Nahe Wände, eine freie Wasseroberfläche und strömendes Fluid sind Randbedingungen, die hier berücksichtigt werden. Mit numerischen Simulationen werden die Eigenfrequenzen und die Dämpfung vorhergesagt und ausserdem mit experimentellen Werten bestätigt.

Die Eigenfrequenz von verschiedenen Strukturen wie Balken, rechteckigen Platten und Kreisplatten werden experimentell untersucht und mit Werten aus der Literatur, analytischen Berechnungen und numerischen finite Elemente Simulationen verglichen. Die Strukturen sind dabei in Wasser und werden mit einer elektromagnetischen Spule ange regt, um die Frequenzantwort mit einem Laser Scanning Vibrometer System zu messen. Strukturen haben in Wasser eine tiefere Eigenfrequenz und eine höhere Dämpfung als in Luft. Kopplungseffekte wie nahe Wände werden genauer untersucht, indem die Randbedingungen für verschiedene Strukturen verändert werden. Nahe Wände oder eine freie Wasseroberfläche haben einen starken Einfluss auf die Eigenfrequenz. Beim Vergleich der Eigenfrequenz einer Struktur, die sich in einem mit Wasser gefüllten, unendlichen Raum befindet, ist die Eigenfrequenz bei einer nahen Wand noch tiefer und bei einer freien Wasseroberfläche höher. Die Kopplungseffekte, die für den Einfluss auf die Eigenfrequenz verantwortlich sind, werden anhand eines Modells mit zwei gleichen Kreisplatten zwischen denen sich Wasser befindet, erklärt.

Für die numerische finite Elemente Simulation der Eigenfrequenzen von Strukturen in Wasser wird die kommerziell verfügbare Software ANSYS verwendet. Der Einfluss des Wassers auf die Eigenfrequenz der Strukturen wird mit Hilfe von akustischen Elementen

angenähert. Eine typische Anwendung der akustischen Elemente ist die Dynamik von Strukturen, die von Fluid umgeben sind. Die zu Grunde liegende Gleichung dabei ist die Wellengleichung.

Dämpfungswerte von Platten in Luft und in Wasser werden aus Experimenten bestimmt. Die Dämpfung von Platten steigt für Eigenfrequenzen höherer Ordnung. Bedingt durch nahe Wände steigt die Dämpfung weiter. Rotierendes Wasser um eine Kreisplatte erhöht die Dämpfung zusätzlich. Bedingt durch den rechnerischen Aufwand konnte nur die Dämpfung eines Balkens, der von Wasser umgeben ist, simuliert werden und dann mit den experimentellen Werten verglichen werden. Mit Hilfe der Simulationssoftware ANSYS wurde eine numerische Zwei-Wege Kopplung zwischen einer Strömungsmechanik-Simulation und einer Struktur-Simulation im Zeitbereich durchgeführt. Die Dämpfungswerte der ersten drei Biegemoden des Balkens wurden simuliert und anschliessend mit den experimentellen Werten verglichen.

Ein neues Phänomen wurde entdeckt, wenn Wasser in der Nähe einer Kreisplatte rotatorisch strömt. Die Eigenfrequenzen einer Kreisplatte, die von rotierendem Wasser umgeben ist, teilen sich auf. Dafür wurde eine Kreisplatte untersucht, die sich innerhalb eines Versuchstandes befindet, bei dem das Wasser um die Platte herum gleichachsig mit Hilfe eines Elektromotors in Rotation versetzt werden kann. Die Schwingungsantwort wurde hierfür bei verschiedenen Rotationsgeschwindigkeiten mit Hilfe eines Laser Scanning Vibrometer Systems gemessen. Die Teilung der Eigenfrequenzen wird grösser wenn auch die Rotationsgeschwindigkeit grösser wird. Für ein mit Wasser durchströmtes Rohr mit periodischen Randbedingungen existiert ein ähnliches Phänomen. Ein analytisches Model kann diese Teilung vorhersagen.