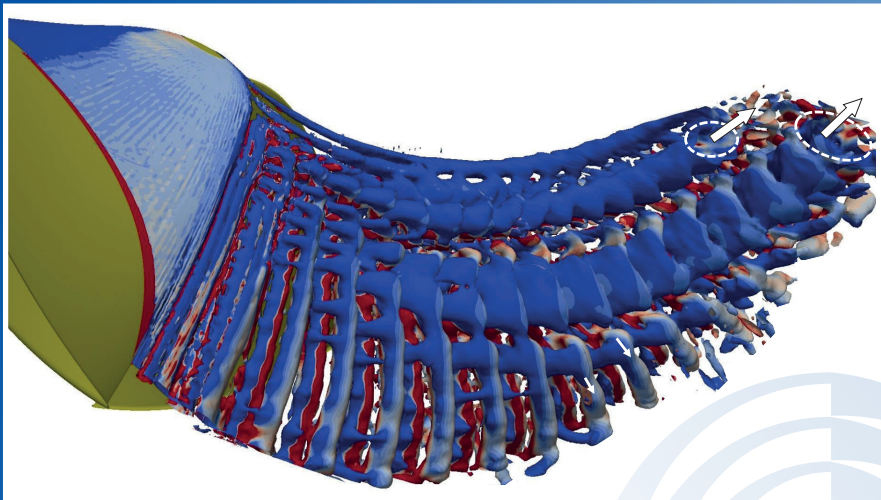


# Identifikation und Analyse kohärenter Strömungsstrukturen sowie der hydroakustischen Schallabstrahlung eines nabenlosen Propellers

Dr.-Ing. Max Hieke

Universität  
Rostock  Traditio et Innovatio



Schriftenreihe des Lehrstuhls für Strömungsmaschinen

**Max Hieke**

**Identifikation und Analyse kohärenter  
Strömungsstrukturen sowie der hydroakustischen  
Schallabstrahlung eines nabenlosen Propellers**

Shaker Verlag  
Düren 2021

**Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Zugl.: Rostock, Univ., Diss., 2021

Copyright Shaker Verlag 2021

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-8307-1

ISSN 2749-957X

Shaker Verlag GmbH • Am Langen Graben 15a • 52353 Düren

Telefon: 02421 / 99 0 11 - 0 • Telefax: 02421 / 99 0 11 - 9

Internet: [www.shaker.de](http://www.shaker.de) • E-Mail: [info@shaker.de](mailto:info@shaker.de)

## **Zusammenfassung: Identifikation kohärenter Strömungsstrukturen und Analyse der hydroakustischen Schallabstrahlung eines nabenlosen Propellers**

In dieser Arbeit wurde das hydrodynamische sowie resultierende hydroakustische Verhalten eines nabenlosen Propellers mittels experimentellen sowie numerischen Methoden untersucht. Ziel der Untersuchungen war es das instationäre Strömungsfeld zu quantifizieren sowie die daraus resultierenden Schallquellen zu identifizieren.

In diesem Rahmen wurde die Kopplung zwischen der Hydrodynamik sowie der Hydroakustik untersucht sowie die strömungsmechanischen Phänomene, die zur Bildung von hydroakustischen Schallquellen am nabenlosen Propeller führen, beschrieben. Innerhalb der Experimente wurden hierfür der hydroakustischen Schalldrücke sowie die Wanddruckfluktuationen erfasst und anschließend gegenübergestellt. Die numerischen Untersuchungen basierten auf verschiedenen Strömungssimulationen, unter anderem mit dem Stress-Blended-Eddy-Simulation (SBES)-Verfahren. So wurden die resultierenden transienten Strömungsfelder der SBES hinsichtlich der auftretenden Strömungsstrukturen untersucht. Das Strömungsfeld des nabenlosen Propellers ist charakterisiert durch ein zweifaches, helixförmiges Wirbelsystem, welches durch periodische Ablösungen der Grenzschichten im Bereich der Blattspitzen sowie Blatthinterkanten entsteht. Es konnte beobachtet werden, dass der Zerfall des helixförmigen Wirbelsystems im Vergleich zu dem Wirbelsystemen von Nabenpropellern in einer größeren Distanz zum Propeller einsetzt. Der Zerfallsprozess ist hierbei durch sinusartige, kurzwellige sowie langwellige Störungen charakterisiert, die sich stromab ausbreiten und gegenseitig verstärken, bis die resultierenden Scherkräfte den Zerfall des Wirbelsystems initiieren. Das Phänomen des ‚leap-frogging‘, welches bei dem Zerfall des Wirbelsystems von Nabenpropellern auftritt, konnte in diesem Zusammenhang jedoch nicht beobachtet werden.

Die resultierenden Druck- und Geschwindigkeitsfelder des Falls  $J = 0$  wurden zudem für die Identifikation kohärenter Strömungsstrukturen mittels Proper-Orthogonal-Decomposition (POD)-Analyse sowie für die Berechnung des hydroakustischen Schallfeldes mittels Expansion-About-Incompressible-Flow (EIF)-Ansatz, durch den Projektpartner, herangezogen. Mit Hilfe der POD-Analyse konnte neben den primären Strömungsstrukturen überlagerte Sekundärstrukturen identifiziert werden, die beispielsweise den periodischen Ablösungen der Grenzschichten im Bereich der Blatthinterkanten sowie am Düseneinlass zuzuordnen sind. Weiterhin wurden durch periodische Ablösungen der Grenzschichten um den Düsenumfang weitere Druckfluktuationen initiiert. Aufgrund der expliziten Periodizität kohärenter Strömungsstrukturen wurde deren Bezug zur hydroakustischen Schallemission näher untersucht. In diesem Zusammenhang wurden mit Hilfe des hydroakustischen Quellterms  $dp/dt$  Gebiete identifiziert, in denen es zu Bildung von Schall kommt und das resultierende Schalldruckfeld analysiert.

In Kombination mit den durch die POD-Analysen identifizierten kohärenten Strömungsstrukturen konnte ein detaillierter Einblick der zugrunde liegenden Strömungsphänomene, die zur Bildung von Schall führen, ermöglicht werden. So wurden im Bereich kurz vor sowie hinter dem Propeller die höchsten Amplituden des Quellterms lokalisiert. In einem größeren Abstand zum Propeller wurden weitere Schallquellen identifiziert, die auf die Interaktion der helixförmigen Wirbelstrukturen mit den Scherschichten im Nachlauf um den Düsenumfang zurückzuführen sind. Die POD-Analyse hat gezeigt, dass es sich um großskalige kohärente Strömungsstrukturen handelt, die zwar in ihrer Amplitude niedrig, jedoch eine Vergleichsweise große räumliche Ausdehnung aufweisen.

Die Untersuchungen in dieser Arbeit haben gezeigt, dass die durchgeführte Prozedur für die Berechnung des hydroakustischen Schallfeldes aus den transienten Druck- sowie Geschwindigkeitsfeldern einer skalenauflösenden Strömungssimulation in der Lage ist sinnvolle Ergebnisse zu liefern. Die Identifikation kohärenter Strömungsstrukturen ermöglicht

hierbei einen detaillierten Einblick in die periodischen Anteile der Strömung. Für zukünftige Untersuchungen wurde ein mathematischer Ansatz ausgearbeitet, um die hydroakustischen Schallemissionen einzelner kohärenter Strömungsstrukturen zu berechnen. Somit können beispielsweise die Schallemissionen einzelner spektraler Anteile sowie der jeweilige Beitrag zur Gesamtschallemission ermittelt werden.