

Strömungsakustisches Experiment zu Wand-Jet-Anregungen

C. Will^{1*}, J. Abshagen², G. Pfister¹

¹ *Institut für Experimentelle und Angewandte Physik der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, 24098 Kiel*
**E-Mail: will@physik.uni-kiel.de, christian1will@bwb.org*

² *Forschungsbereich für Wasserschall und Geophysik der WTD71, 24340 Eckernförde*

Einleitung

Der akustische Einfluss von Strömungen erfährt auch für das Medium Wasser zunehmendes Interesse, da Untersuchungen unter Wasser vorwiegend mittels Schall stattfinden, wie z.B. für Ortungsaufgaben oder aber bei seismischen Explorationen. Hier findet die Sonartechnik ihre Anwendung. Sonare können sowohl aktiv als auch rein passiv sein. Für den (passiven) Empfangsteil eines Sonars, der aus Hydrofonen (im Allgemeinen piezokeramische Wandler) besteht, können von Strömungen erzeugten Geräusche problematisch sein. Insbesondere für bewegte Sonarsysteme wie Schleppsonare (z.B. Arrays auf Schleppkörpern, Towed Arrays), die durch das Wasser gezogen werden, ist der limitierende Einfluss von strömungsinduziertem Schall von wesentlicher Bedeutung. In Seeversuchen mit einem Schleppkörper mit einem linearen Hydrofonarray wurden in der Vergangenheit Untersuchungen unternommen, bei denen die Abhängigkeit des Schalldruckpegels der strömungsinduzierten Geräusche von der Geschwindigkeit des Schleppschiffes bzw. des Schleppkörpers betrachtet wurden [1]. Um den Einfluss von strömungsinduziertem Schall genauer zu bestimmen, wird in einem Laborexperiment die Grenzschicht über einer Platte sowie deren Auswirkung auf Körper- und Wasserschall untersucht.

Experimente

Strömungsinduzierte Geräusche, die zum Eigenstörpegel eines Sonar beitragen, können unterschiedliche physikalische Erzeugungsmechanismen haben. In Abbildung 1 ist ein Wellenzahl-Frequenz-Diagramm dargestellt, welches unterschiedliche strömungsinduzierte Geräuschquellen illustriert. Die Messungen wurden mit einem linearen Array mit $N=30$ Hydrofonen durchgeführt, das unmittelbar unterhalb einer turbulenten Grenzschicht positioniert war. Die Plattengrenzschicht entstand an einem Schleppkörper, der mit einer Geschwindigkeit von $U=5,4$ m/s in einem Abstand von mehreren hundert Metern hinter einem Schleppschiff in einer Tiefe von ca. 150 m gezogen wurde [1].

Im Frequenzbereich bis ca. 50 Hz ist eine Spur im positiven Wellenzahlbereich zu erkennen, die im höheren Frequenzbereich durch räumliches Aliasing in den negativen Wellenzahlbereich gefaltet wird. Diese Spur entsteht durch den advektiven Transport in der turbulenten Grenzschicht und besitzt eine typische Geschwindigkeit von ca. $0.7 U$. Bei höheren Frequenzen wird diese Spur wegen des

Hydrofonabstandes von $d = 70$ mm und der verschwindenden raum-zeitlichen Korrelation nicht mehr aufgelöst.

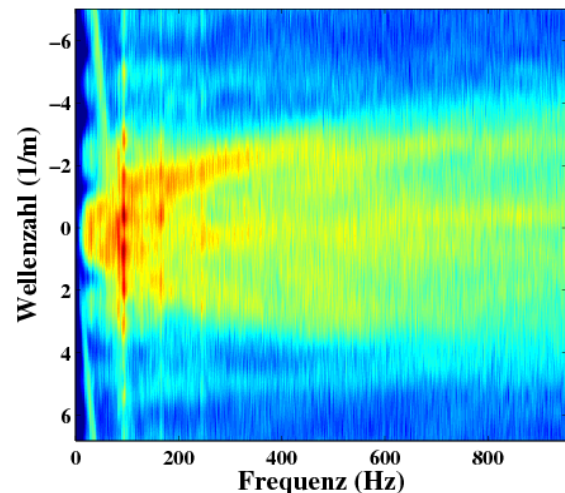


Abbildung 1: Wellenzahl-Frequenz-Diagramm für eine Messung mit einem linearen Array bei einer Schleppgeschwindigkeit von 5,4 m/s.

Eine wichtige strömungsinduzierende Schallquelle stellen wirbelerzeugende Vibrationen dar, die an Kavitäten oder Kanten entstehen können. In Abbildung 1 findet sich ein Beispiel eines derartigen schmalbandigen Störgeräusches bei $f=93$ Hz. Diese Vibrationen zeigen annähernd eine lineare Abhängigkeit der Frequenz von der Strömungsgeschwindigkeit, wie in Abbildung 2 zu sehen.

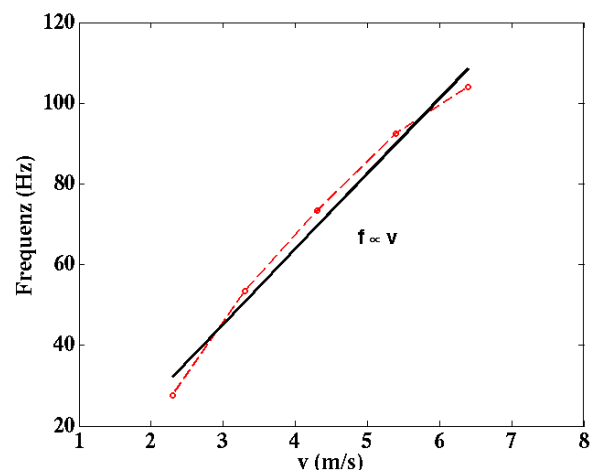


Abbildung 2: Lineare Geschwindigkeitsabhängigkeit der Vibrationsfrequenz.

Derartige Vibrationen entstehen an Inhomogenitäten des Schleppkörpers mit einer typischen Längenskala von mehreren Millimetern. Eine strömungsinduzierte Schallquelle, die ein breitbandiges Frequenzverhalten aufweist, sind durch die Grenzschichtturbulenz erzeugte Körperschallschwingungen der angeströmten Platte. Diese sind ebenfalls deutlich in Abbildung 1 zu sehen. Wegen der Dispersion vom Biegeverhalten zeigt sich hier ein nichtlinearer Verlauf der Körperschallspur im Wellenzahl-Frequenz-Diagramm.

Die in diesem Experiment festgestellte Abhängigkeit des Pegels des breitbandigen Strömungsgeräusches beträgt für $f=1500$ Hz ca.

$$P \sim v^{5.4} \quad (1)$$

und ist damit in guter Übereinstimmung zu der in der Literatur zu umströmten Körpern zu findenden Proportionalität des Pegels zur sechsten Potenz der Geschwindigkeit [1].

Um den Einfluss der turbulenten Grenzschicht auf die Akustik genauer zu untersuchen, wird in einem Laborexperiment in einem Tank die Grenzschicht einer durch einen Wand-Jet induzierten Strömung über einer Platte betrachtet. In Abbildung 3 ist eine schematische Skizze des Versuchsaufbaus zu sehen.

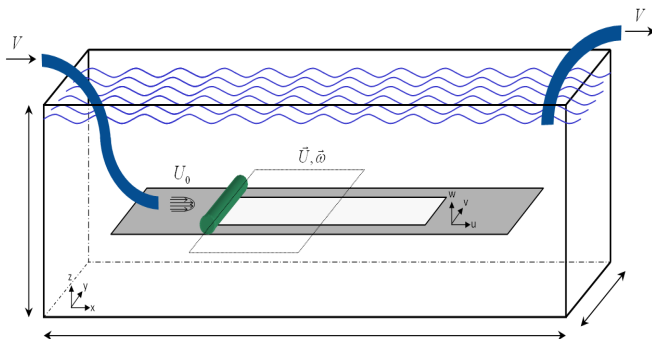


Abbildung 3: Schematische Skizze des Experiments mit angeströmten Zylinder zur Induzierung einer Grenzschicht. Eingezeichnet ist die von Strömung \vec{U} und Wirbelstärkenvektor $\vec{\omega}$ aufgespannte Ebene.

Dabei wird die Strömung über die Messplatte geleitet. Diese ist auswechselbar, um so Versuche für verschiedene Plattenkonfigurationen durchführen zu können. Um eine turbulente Grenzschicht zu induzieren, wird ein der Platte vorgelagerter Körper angeströmt, an dem sich durch Ablösungen Wirbel bilden [2, 3]. Als Objekt der Anströmung dient ein Kreiszyylinder. Die sich am Zylinder ablösenden Wirbel, beschrieben durch den Wirbelstärkenvektor $\vec{\omega}$, bilden mit der Strömung \vec{U} eine Ebene, die parallel zur Messplatte ist. Da die durch die Wirbel verursachten Druckschwankungen proportional zur zeitlichen Ableitung des Kreuzproduktes von \vec{U} und $\vec{\omega}$ sind,

tritt deren Maximum in Normalenrichtung der Ebene und somit auch der Platte auf.

Um die Eigenschaften der Plattengrenzschicht zu charakterisieren, werden mit einer Hitzdrahtsonde gleichzeitig die drei Geschwindigkeitskomponenten u , v , w der Strömung gemessen. Aus diesen Größen können so die Komponenten des Reynolds-Stress-Tensors bestimmt werden. In Gleichung 2 ist der Reynolds-Stress-Tensor R_{ij} , der durch die Angabe der auftretenden Normal- und Schubspannungen wesentliche Eigenschaften einer turbulenten Strömung beschreibt, benannt, wobei u_i und u_j die Werte u , v oder w annehmen können.

$$R_{ij} = \rho \overline{u_i u_j} \quad (2)$$

Zur weiteren Charakterisierung der Grenzschicht wird die Wandschubspannung mittels in die Platte eingelassener wandbündiger Shear-Stress-Sonden bestimmt. Die durch die Wirbel der turbulenten Grenzschicht induzierten Wanddruckschwankungen auf der Platte werden mit wandbündigen Hydrofonen gemessen. Um den durch die Strömung erzeugten Körperschall zu bestimmen, wird die Messplatte mit Beschleunigungsaufnehmern abgetastet. Der gesamte Strömungsschall wird mit einem linearen Hydrofonarray gemessen. Um eine hohe räumliche Auflösung zu erhalten und so die oben genannten Aliasing-Effekte zu eliminieren, werden für das Array Hydrofone mit geringen Abmaßen im Durchmesser benutzt, die somit in geringem Abstand zueinander positioniert werden können.

Zusammenfassung

Wie hier anhand von Seeversuchen mit einem Schleppkörper gezeigt wurde, ist für die Hydroakustik der Einfluss von strömungsinduziertem Schall von Bedeutung. Um diesen genauer zu betrachten, wird in einem Tankexperiment mit Wand-Jet-Anströmung der gesamte Übertragungsweg von (turbulenter) Grenzschicht, induziertem Körperschall und Strömungsschall untersucht. Das Experiment wurde hier vorgestellt.

Literatur

- [1] Abshagen, A.: Turbulent Pressure Statistics in an Underwater Boundary-Layer Experiment. *Advances in Turbulence XII*. Springer (2009), 859-862
- [2] Schäfer, F.; Müller, S.; Uffinger, T.; Becker, S.; Grabinger, J.; Kaltenbacher, M.: Fluid-Structure-Acoustics Interaction of the Flow Past a Thin Flexible Structure. *AIAA Journal*, Vol. 48, No. 4, April 2010, p. 738-748.
- [3] Hahn, C.: Experimentelle Analyse und Reduktion aeroakustischer Schallquellen an einfachen Modellstrukturen, Dissertation, Universität Erlangen-Nürnberg, 2008