

Turbulentes Strömungsgeräusch in einer hydroakustische Antenne mit Querschnittserweiterung

Jan Abshagen, Volkmar Nejedl

Wehrtechnische Dienststelle für Schiffe und Marinewaffen, Maritime Technologie und Forschung (WTD71)

24340 Eckernförde, Deutschland, Email: janabshagen@bundeswehr.org

Einleitung

Turbulente Grenzschichten sind für viele strömungsakustische Anwendungen von großer Bedeutung [1, 2]. Diese Grenzschichten können in einem durchströmten Innenraum eines Körpers auftreten und Schall durch Anregung von oder Wechselwirkung mit der mechanischen Struktur der Hülle in den Außenraum abstrahlen, wie es z.B. bei der Schallentstehung durch eine turbulente Rohrströmung der Fall ist. In anderen Anwendungen, wie z.B. bei hydroakustischen Antennen, führt hingegen eine äußere turbulente Umströmung eines Körpers zur Entstehung von strömungsinduziertem Schall im Innenraum [3].

Axialsymmetrische, hydroakustische Antennen bestehen zumeist aus einer elastischen schlauchartigen Hülle, die wiederum mit einer Flüssigkeit oder einem Gel gefüllt ist [5]. Das induzierte Strömungsgeräusch im Innenraum der Antenne wird von denen sich ebenfalls im Inneren befindlichen Hydrophonen als Störgeräusch detektiert [4]. Eine signifikante Erhöhung des (Eigen-)Störpegels tritt auf, sobald die Antenne nicht mehr parallel, sondern in einem hinreichend großen Anstellwinkel angeströmt wird. Dieser Fall tritt z.B. bei einer geschleppten Antenne während einer Kurvenfahrt auf [6].

Hindernisse auf der äußeren Hülle einer umströmten Struktur können zur Ablösung der turbulenten Grenzschicht und damit zu einem signifikant erhöhtem Störpegel im Innenraum dieser Struktur führen [7]. Für eine axialsymmetrische Antenne stellt eine Querschnittserweiterung ein derartiges Hindernis dar. Das Verhältnis von Länge zu Durchmesser liegt bei hydroakustischen Antennen häufig im Bereich von $\mathcal{O}(100)$ bis $\mathcal{O}(1000)$, so dass sich bei einer Querschnittserweiterung am vorderen Ende einer Antenne in der Regel die abgelöste Grenzschicht im akustischen Bereich der Antenne wieder angelegt hat.

Es werden Ergebnisse einer experimentellen Untersuchung zur Geräuschenstehung in einer hydroakustischen Schleppantenne mit einer Querschnittserweiterung vorgestellt. Die Schleppversuche wurden im November 2016 mit dem Forschungsschiff ELISABTH MANN BORGESE im Sognefjord, Norwegen, durchgeführt.

Experiment

Die Schleppantenne besteht aus einem ölgefüllten, elastischen Schlauch mit einem Durchmesser $d = 50$ mm. Die sechzehn Hydrophone ($N=16$) dieser Antenne sind koaxial in einem Abstand von $\Delta x = 0,075$ m positioniert, d.h. die akustische Länge der Hydrophonsektion beträgt $L_{\text{hyd}} = 1,2$ m. Diese ist mittig in der Antenne zwischen

zwei jeweils $L_{\text{vim}} = 4$ m langen VIM-Sektionen (vibration isolation module) angeordnet, so dass sich eine Gesamtlänge der Antenne von 9,2 m ergibt. Eine schematische Darstellung eines Teils der Hydrophonsektion ist in Abbildung 2 zu sehen. Durch das Schleppen der Antenne

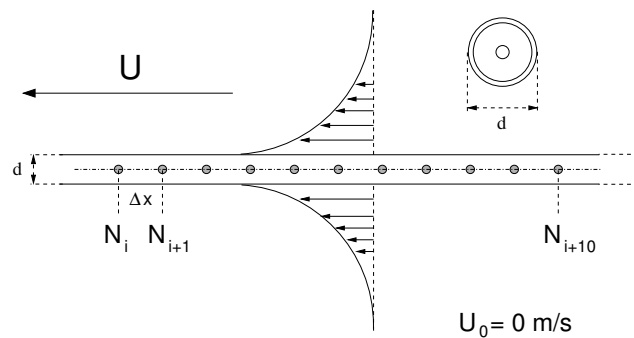


Abbildung 1: Schematische Darstellung einer Grenzschichtströmung entlang einer hydroakustischen Antenne, die mit einer Schleppgeschwindigkeit U geschleppt wird.

mit einer Geschwindigkeit U bildet sich eine axialsymmetrische Grenzschicht um die Antenne, welche bei typischen Schleppgeschwindigkeiten turbulent ist und durch die Ausbildung von turbulente Wanddruckschwankungen auf der äußeren Hülle Strömungsgeräusche im Inneren induziert. Die Antenne wurde während der Messungen in einem Abstand von 150 m von Schleppschiff auf ca. 10 m Tiefe geschleppt.

Am vorderen Ende des Antennensystems erweitert sich der Querschnitt zunächst vom Durchmesser des Schleppkabel $d_{\text{kabel}} = 22$ mm auf $d_{\text{hind}} = 83$ mm und verjüngt sich dann nach $L_{\text{hind}} = 0,515$ m wieder auf den Antennendurchmesser $d = 50$ mm. Die Vorder- und Hinterkante der Querschnittserweiterung besitzt dabei einen Steigungswinkel von $\alpha_{\text{vorne}} = 11^\circ$ bzw. $\alpha_{\text{hinten}} = 15,4^\circ$. Die Lauflänge entlang der Antenne von der Hinterkante der Querschnittserweiterung bis zur Mitte der Hydrophonsektion beträgt $L = L_{\text{vim}} + L_{\text{hyd}}/2 = 4,8$ m. Diese führt zu einem Verhältnis von Lauflänge zu Hindernishöhe von:

$$\frac{L}{(d_{\text{hind}} - d)/2} \approx 291 \quad (1)$$

Ergebnisse

Die über alle 16 Hydrophone gemittelte spektrale Leistungsdichte ist für eine Schleppgeschwindigkeit von $U = 3,3$ m/s in Abbildung 2 dargestellt. Die Analysebandbreite beträgt $\Delta f = 1$ Hz und die gesamte Messzeit

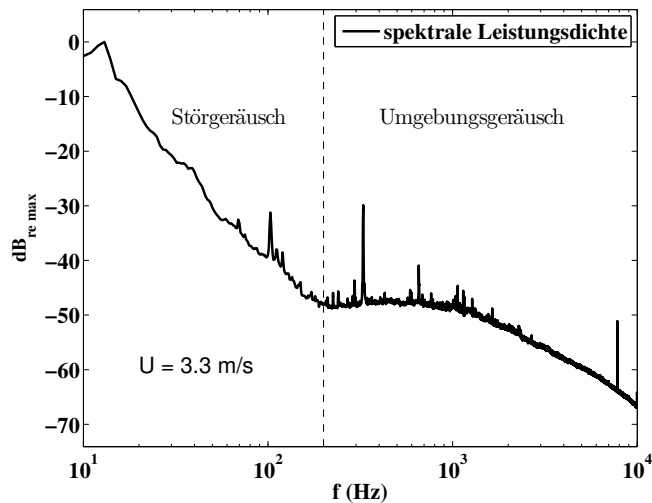


Abbildung 2: Mittlere spektrale Leistungsdichte gemessen bei einer Schleppgeschwindigkeit von $U = 3,3$ m/s. Oberhalb von 200 Hz ist das Umgebungsgeräusch pegeldominant, während in unteren Frequenzbereich die Störgeräusche durch das Schleppschiff und die turbulente Umströmung dominiert.

300 s. Man erkennt deutlich einen Frequenzbereich oberhalb von 200 Hz, in dem der spektrale Pegel durch das Umgebungsgeräusch im Meer dominiert wird. Unterhalb von 200 Hz ist das Störgeräusch der Antenne pegeldominant. Diese setzt sich zusammen aus dem durch die turbulente Umströmung induzierten Geräusch sowie anderen Geräuschbeiträgen z.B. vom Schleppschiff. Mit Hilfe der Wellenzahl-Frequenzanalyse kann man die verschiedenen Beitrag im Wellenzahlraum identifizieren und den strömungsinduzierten Geräuschpegel vom Wasserschallpegel trennen [8]. Der im Wellenzahlraum gefilterte Spek-

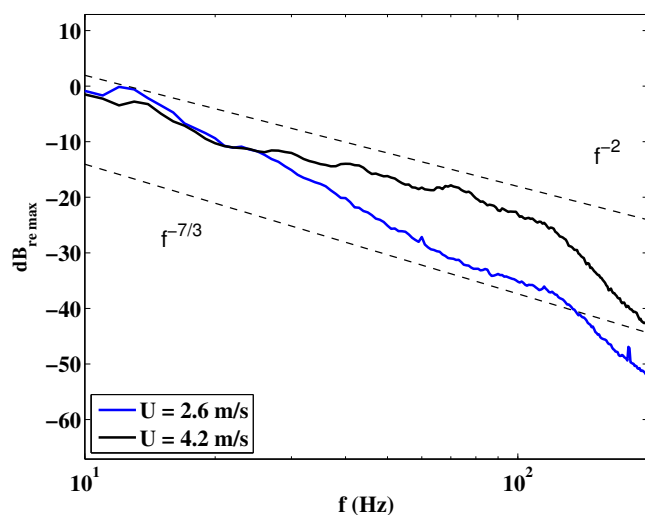


Abbildung 3: Spektraler Pegel des strömungsinduzierten Geräusches für zwei unterschiedliche Schleppgeschwindigkeiten U . Zum Vergleich sind ein spektraler f^{-2} und ein $f^{-7/3}$ Abfall eingezeichnet.

tralpegel ist für zwei unterschiedliche Schleppgeschwindigkeiten in Abbildung 3 dargestellt. Dieser spektrale Verlauf dieses Pegels entspricht dem des strömungsinduzierten Geräusches im Inneren der Antenne. Er unter-

scheidet sich bis ca. 200 Hz von dem einer ungestörten Grenzschicht an einer axialsymmetrischen Antenne, für die ein f^{-3} Abfall gefunden wurde [6]. Für die niedrigere Geschwindigkeit existiert im Spektrum in Abbildung 3 ein Frequenzband mit einem $f^{-7/3}$ Verlauf, wie man ihn auch in isotroper Turbulenz und in separierten Grenzschichten z.B. in der Umgebung einer Vorwärtsstufe findet. Für größere Geschwindigkeiten nähert sich der spektrale Verlauf einem f^{-2} Gesetz an, welches in turbulenten Wanddruckschwankungen von wieder angelegten Grenzschichten auftritt [9].

Zusammenfassung

Experimentelle Untersuchungen des strömungsinduzierten Geräusches im Innenraum einer hydroakustischen Schleppantenne mit einer Querschnittserweiterung wurden im Sognefjord, Norwegen, durchgeführt. Dabei konnte gezeigt werden, dass der spektrale Abfall des Strömungsgeräusches im tieffrequenten Bereich noch in einem Abstand der 291-fachen Hindernishöhe eine starke Ähnlichkeiten zu dem einer abgelösten bzw. wieder angelegten turbulenten Grenzschicht aufweist. Dieser unterscheidet sich signifikant von dem des Störgeräusches in einer ungestörten Antenne.

Literatur

- [1] Blake, W.K., Mechanics of flow-induced sound and vibration. Academic Press, New York, 1986
- [2] Ciappi, E., De Rosa, S., Franco, F., Guyader J.L. and Hambric, S.A.: Flinovia-Flow Induced Noise and Vibration Issues and Aspects. Springer, Cham, 2015
- [3] Abshagen, J, Küter, D, und Nejedl, V.: Flow-induced interior noise from a turbulent boundary layer of a towed body. Advances in Aircraft and Spacecraft Science 3 (2016), 259-269
- [4] Urick, R.J.: Principles of Underwater Sound (2nd ed.). McGraw-Hill, New York, 1975
- [5] Dowling, A.P.: Underwater flow noise. Theoret. Comput. Fluid Dynamics 10, 1998, 135-153
- [6] Abshagen, J., Nejedl, V.: Turbulentes Strömungsgeräusch an gekrümmten Schleppantennen. Fortschritte der Akustik - DAGA2010, Berlin (2010), 693-694
- [7] Schäfer, F. Müller, S., Uffinger, Th., Becker, S., Grabinger, J. und Kaltenbacher, M.: Fluid-Structure-Acoustic Interaction of the Flow Past a Thin Flexible Structure. AIAA Journal 48, 2010, 738-748.
- [8] Abshagen, J. und Nejedl, V.: Towed body measurements of flow noise from a turbulent boundary layer under sea conditions. Journal of the Acoustical Society of America 135 (2014), 637-645
- [9] Camussi, R., Felli, M., Pereira, F., Aloisio, G. und Di Marco, A.: Statistical properties of wall pressure fluctuations over a forward-facing step. Physics of Fluids 20 (2008), 075113