Schallabstrahlung der Schiffsstruktur unter Schubanregung

Dr. G. Wittek, BWSSA Kiel-Heikendorf, DAGA 2018

1. Einleitung und Problemstellung

Die Schiffsakustik umfaßt den Körperschall in der Schiffsstruktur sowie den von der Schiffstruktur abgestrahlten Luft- und Wasserschall. Die Anregung der Schiffsstruktur erfolgt durch (normale) **Druckanregung** und darüber hinaus durch (tangentiale) **Schubanregung**. Allgemein wird hinsichtlich der Schallabstrahlung nur die Druckanregung beachtet, der Beitrag der Schubanregung wird (weil als gering angenommen) vernachlässigt. Dieses erscheint gefühlsmäßig gerechtfertigt, *ein Beweis dafür aber fehlt*. Deshalb taucht bei Körperschall-Untersuchungen insbesondere hinsichtlich Dämmung und Dämpfung immer wieder die Frage auf, ob die Schubanregung der Struktur nicht doch einen bedeutsamen Einfluß ausübt.

Der Einfluß der Schubanregung auf die Schallabstrahlung ist meßtechnisch nicht zugänglich, weil es praktisch unmöglich ist, deren Anteil exakt von der Druckanregung zu trennen. *Rechnerisch* ist diese Trennung jedoch zu bewerkstelligen. Dieses gelingt mit Hilfe des auf der DAGA 2005 [1] vorgestellten Kalküls zur Berechnung der Übertragung von Verschiebungs-Spannungsverteilungen in elastischen Strukturen.

Die Schiffsstruktur wird als Schiffsaußenhaut mittels einer Stahlplatte (HOOKEsches Medium) modelliert, welche auf der einen Seite (Anregungsebene im Schiffsinneren) an Luft angekoppelt ist und auf der anderen Seite (Schiffsaußenhaut) an Wasser.

2. Problemstellung

Wir behandeln das Problem zweidimensional mit den Komponenten der Normal- und Tangentialkraft in der xz-Ebene:

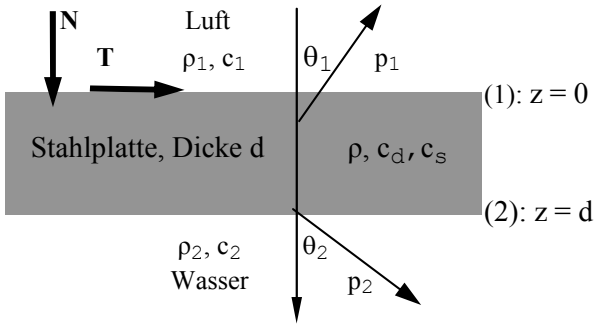
$$\mathbf{N} = N\, e^{j(\omega t - kx)}\, \mathbf{e}_z \qquad \mathbf{T} = T\, e^{j(\omega t - kx)}\, \mathbf{e}_x$$

Die Anregungen in der Ebene z = 0 führen auf beiden Seiten der Platte zu Verschiebungs- und Spannungsverteilungen

$$\mathbf{s} = \xi\, \mathbf{e}_x + \zeta\, \mathbf{e}_z \qquad \mathbf{t}^{(n)} = \tau\, \mathbf{e}_x + \sigma\, \mathbf{e}_z$$

Diese sind nach dem in [1] dargelegten Kalkül vermöge einer Transfermatrix $\mathcal{W}$ [1] miteinander verknüpft:

$$\begin{bmatrix} \xi \\ \zeta \\ \tau \\ \sigma \end{bmatrix}_2 = \mathbf{W}(d) \cdot \begin{bmatrix} \xi \\ \zeta \\ \tau \\ \sigma \end{bmatrix}_1$$



3. Normale (Druck-)Anregung

Bei Druckanregung gilt für den abgestrahlten Luft- und Wasserschall p_1 und p_2

$$\begin{bmatrix} 1 \\ \hline j\omega Z\theta_2 \\ -1 \end{bmatrix} p_2 = \begin{bmatrix} \zeta \\ \sigma \end{bmatrix}_2 = \mathbf{P}(d) \cdot \begin{bmatrix} \zeta \\ \sigma \end{bmatrix}_1 = \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ \frac{}{j\omega Z\theta_1} & \\ -1 & -1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} p_1 \\ N \end{bmatrix}$$

Die Druckmatrix **P** folgt aus der Transfermatrix **W.**

Die Auflösung des Gleichungssystems nach p_1 und p_2 liefert

$$\left|\frac{p_1}{N}\right|^2 = \frac{TG}{4}\, r\theta_{12} \left[(P_{11})^2 + (\omega\, Z\theta_2\, P_{12})^2 \right]$$

$$\left|\frac{p_2}{N}\right|^2 = \frac{TG}{4\, r\theta_{12}}$$

mit dem Transmissionsgrad TG der Platte nach [1], den Matrixelementen P_{ik} der Druckmatrix **P**, der Kreisfrequenz ω und den Impedanzgrößen

$$Z\theta_1 = \frac{Z_1}{\cos\theta_1} \qquad Z\theta_2 = \frac{Z_2}{\cos\theta_2} \qquad r\theta_{12} = \frac{Z\theta_1}{Z\theta_2}$$

4. Tangentiale (Schub-)Anregung

Für die Verschiebungs- und Spannungs-Übertragung von z = 0 nach z = d gilt

$$\begin{bmatrix} 1 \\ \hline j\omega Z\theta_2 \\ -1 \end{bmatrix} p_2 = \begin{bmatrix} \zeta \\ \sigma \end{bmatrix}_2 = \mathbf{S} \cdot \begin{bmatrix} \zeta \\ \tau \\ \sigma \end{bmatrix}_1 = \mathbf{S} \cdot \begin{bmatrix} \frac{-p_1}{j\omega Z\theta_1} \\ T \\ p_1 \end{bmatrix}$$

mit der **Schubmatrix S**, welche sich wieder aus der Transfermatrix **W** ableitet. Es folgt

$$\left|\frac{p_1}{T}\right|^2 = \frac{TG}{4}\, r\theta_{12} \left(|S_{22}|^2 + |\omega Z\theta_2\, S_{12}|^2 \right)$$

$$\left|\frac{p_2}{T}\right|^2 = \frac{TG}{4}\, r\theta_{12} \left(\begin{array}{l} |P_{21}S_{12} - P_{11}S_{22}| + \\ |\omega Z\theta_1\, (P_{11}S_{12} - P_{12}S_{22})| \end{array} \right)$$

Die abgestrahlten Schalldrücke p_1 und p_2 hängen sowohl bei Druck- wie bei Schubanregung jeweils von *beiden* angekoppelten Fluiden (1) und (2) ab (z.B. Luft und Wasser). Die Schallabstrahlung in das Fluid (1) auf der einen Seite ist auch von dem Fluid (2) auf der anderen Seite abhängig und umgekehrt. Die Platte „merkt" also auf jeder Seite, welches Fluid auf der jeweils anderen Seite angekoppelt ist und gestaltet entsprechend die Abstrahlungen.

5. Integrale Schallintensitäten

Die Druckgrößen p_1 und p_2 der abgestrahlten Schalle sind winkelabhängig. Für die gesamte abgestrahlte Schalleistung pro Flächeneinheit folgt per Winkel-Integration für die Druckanregung N

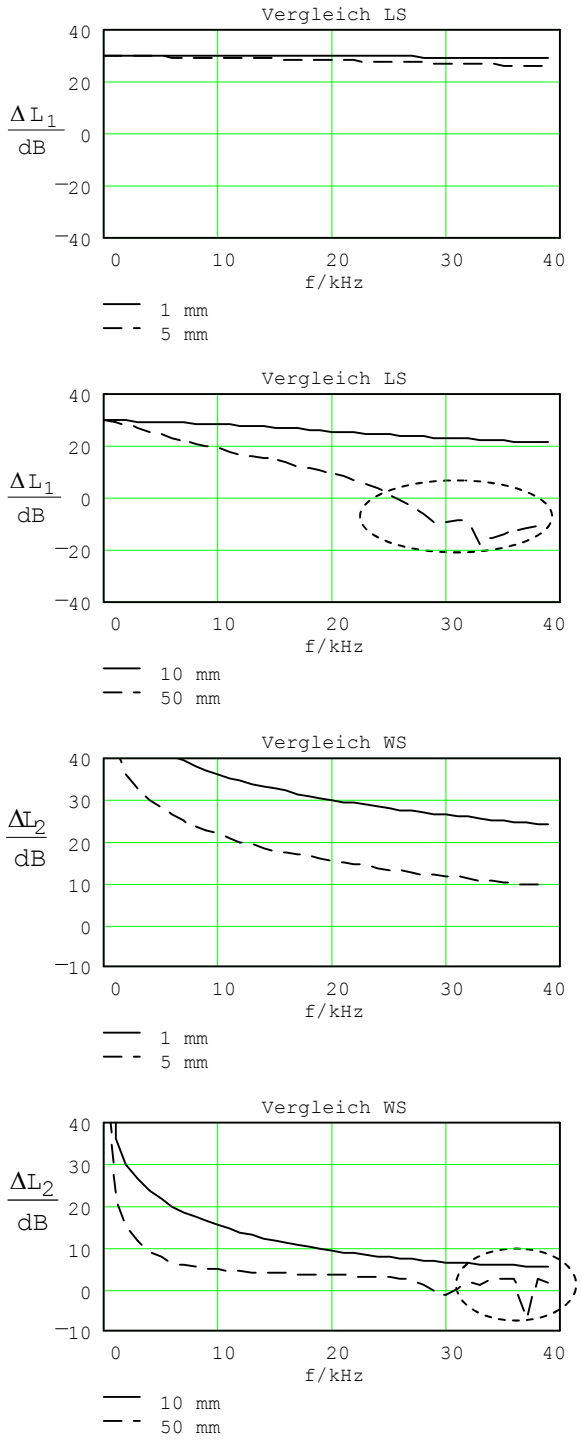
$$P_{kN} = \frac{\pi}{N^2} \int_0^{13{,}5^\circ \text{bzw.}\, 90^\circ} \frac{|p_k(\theta_k)|^2}{Z\theta_k} \sin\theta_k d\theta_k \quad (k = 1,2)$$

und entsprechend für die Schubanregung T.

Nun interessiert der Unterschied der Schallabstrahlungen jeweils bei Druck- und Schubanregung bei numerisch gleicher Anregung: N = T. Die Pegeldifferenzen

$$\Delta L_1 = 10 \lg \frac{P_{1N}}{P_{1T}} \qquad \Delta L_2 = 10 \lg \frac{P_{2N}}{P_{2T}}$$

für Luft- (1) und Wasser-Schall (2) sind in den folgenden Diagrammen als Funktion der Frequenz für verschieden Plattendicken dargestellt.



Darstellungen der Pegeldifferenzen ΔL_1 für Luftschall und ΔL_2 für Wasserschall.

6. Zusammenfassung

Die Diagramme zeigen in der Tat, daß die abgestrahlten Luftschall und Wasserschall-Intensitäten unter Druckanregung in weiten Bereichen jene der Schubanregung überragen. Es existieren aber Bereiche, in denen beide Anregungen „gleichberechtigt“ sind oder die Schubanregung gar dominiert. Eine *generelle* Vernachlässigung der Schubanregung ist deshalb nicht zulässig. Das ist die Kernaussage dieses Vortrages!

Die dargelegten Überlegungen zielten darauf ab, bei Schwingungs-Minderungsmaßnahmen der Schubanregung dann besondere Aufmerksamkeit zuzuwenden, wenn diese nicht ausdrücklich mit einbezogen sind. Dann *könnte* die zugehörige Schubanregung aus ihrer allgemeinen Bedeutungslosigkeit heraustreten wie etwa Unterwasserhindernisse, die bei sinkendem Wasserstand sichtbar werden.

Die Berechnungen wurden durch experimentelle Untersuchungen ergänzt [2,3]. Dabei traten naturgemäß die Schwierigkeiten auf, eine reine Schubanregung herzustellen.

Literatur

[1] WITTEK, G.
Schalltransmission bei ebenen Platten und Schichtstrukturen
ATLAS Elektronik 2006, ISBN 3-936799-29-6;
vgl. auch DAGA-Vortrag, München 2005

[2] WITTEK, G.
Excitation of the Ship Structure via Propeller Shaft and Thrust Bearing.
7. US-deutsches Hydroakustik-Symposium:
Vortrag, München Sept. 1991

[3] WITTEK, G.; WIESNER, H.
Anregung der Schiffsstruktur über Propellerwelle und Drucklager.
FWG Techn. Bericht TB1994-14, Kiel 1994

[4] WITTEK, G.
Luftschall- und Wasserschall-Transmission
bei ebenen Platten und Schichtstrukturen
Eine Matrizenmethode auf der Grundlage
der Verschiebungs- und Spannungsübertragung
bei elastischen (HOOKEschen) Medien.
DAGA 2005 München

email gwittek@gmail.com