

Tieffrequente Korrelationsuntersuchungen an Schiffsstrukturen bei flächiger Anregung

Jan Abshagen¹, Christian Will², Volkmar Nejedl¹

¹ WTD 71, Forschungsbereich für Wasserschall und Geophysik, Berliner Straße 115, 24340 Eckernförde
Email: janabshagen@bwb.org

² Institut für Experimentelle und Angewandte Physik, Universität Kiel, Leibnizstraße 11, 24098 Kiel

Einleitung

Schiffe sind wegen der Vielzahl von Geräuscherzeugern und Strukturelementen komplexe Schallquellen. Der von einem Schiff ins Wasser emittierte Schall wird unter anderem durch Quellen wie z.B. Pumpen und Motoren, die innerhalb der Schiffes in die Struktur einkoppeln und über die Schiffshülle ins Wasser abstrahlen, erzeugt. Der Korrelation von Körperschall und abgestrahltem Wasserschall kommt daher beim Verständnis des sogenannten Zielpegels eines Schiffes eine zentrale Bedeutung zu. Für die Messungen insbesondere des tieffrequenten Anteils des Zielpegels bedarf es der Freifeldbedingung [1]. Um ein besseres Verständnis der Strukturschwingungen eines Schiffes zu erlangen, hat es sich als sinnvoll erwiesen, die Körperschallantwort auf eine definierte Anregung z.B. mittels eines (selbsttragenden) Shakers zu untersuchen. Im tieffrequenten Bereich ist der Einsatz von Shakern innerhalb eines Schiffes zunehmend problematisch, so dass als Alternative eine auf Luftschallanregung basierende Methode bei Messungen auf FS PLANET bereits zum Einsatz kam [2, 3]. Hier wird der räumliche Zusammenhang des Luftschallfeldes mit den Körperschall-schwingungen der Außenhaut von FS PLANET sowie die Abstrahlung unter Freifeldbedingungen untersucht.

Experiment

Der prinzipielle Aufbau des Luftschallexperimentes ist in [2, 3] detailliert dargestellt und soll hier nur kurz wiedergegeben werden. Für die Untersuchungen wird ein Lautsprecher im Hilfsmaschinenraum (Backbord) von FS PLANET, der sich unterhalb der Wasserlinie befindet, an mehreren Aufhängepunkten fixiert, was eine Positionierung der Schallquelle im Raum erlaubt. Das Luftschallfeld wird mittels eines linearen Mikrofonarrays, welches aus 10 Mikrofonen im einem Abstand von $d=50$ cm aufgebaut ist, im Zentrum des Raumes parallel zur Schiffsaußenhaut abgetastet. Die Schwingungen der Schiffshülle werden durch zwei Paare von jeweils orthogonal zueinander stehenden Körperschallaufnehmern, die in einem Abstand von $l = 4$ m innen an der nach außen gerichteten Seite der Schiffshülle angebracht sind, aufgenommen. Wasserschall im Freifeld wird mit einem frei driftenden, vertikalen Hydrophonarray gemessen [1].

Ergebnisse

Für die Untersuchung der tiefrequenten Strukturanregung wurde der Lautsprecher mit einem (langsamen)

LFM-Sweep, aufsteigend von 30 Hz bis 100 Hz mit einer Rate von $\frac{df}{dt} = 0,05 \frac{Hz}{s}$, angesteuert. Diese niedrige Rate erlaubt einerseits das Einschwingen der Schiffsstruktur, andererseits lässt sich durch den LFM-Sweep die Antwort auf die Anregung vom sonstigen Schallgeschehen an Bord und im Wasser trennen.

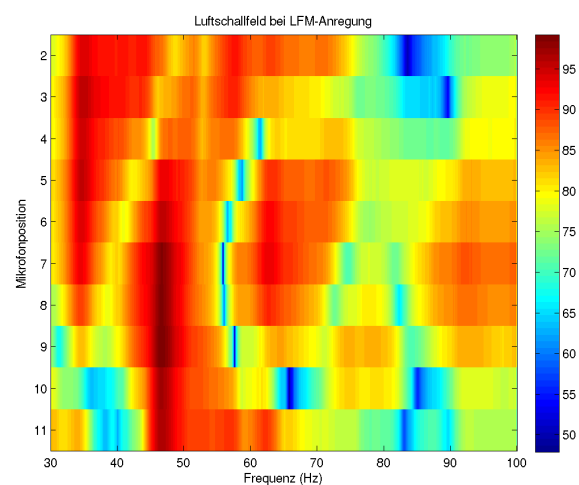


Abbildung 1: Luftschallfeld während eines (langsamen) LFM-Sweeps im Hilfsmaschinenraum von FS PLANET gemessen mit einem linearen Mikrofonarray ($d = 50$ cm, Position 2 in Fahrtrichtung vorne).

Abb. 1 zeigt die räumliche Verteilung des Luftschallfeldes entlang des Mikrofonarrays im Hilfsmaschinenraum als Antwort auf die Anregung durch den LFM-Sweep. Der Raum hat im Querschnitt eine tropfenartige Form mit einer maximalen Breite von ca. 6,5 m, die sich nach hinten konisch auf ca. 6 m verjüngt. Die Längsausdehnung des Raumes beträgt auf Höhe des Arrays ca. 7 m. Trotz der sehr inhomogenen Massenverteilung innerhalb des Raumes, welche z.B. durch Pumpen, Rohrsysteme und Ballasttanks zustandekommt, ist die modale Struktur des Luftschallfeldes deutlich zu erkennen. Daher kann man von einer *flächigen* und somit nicht lokalen Anregung der Schiffsstruktur durch den Luftschall im tieffrequenten Bereich sprechen.

In einigen Frequenzbereichen führt die flächige Luftschallanregung zu einer starken, resonanzartigen Antwort der Schiffsstruktur, während andere Bereiche einen sehr viel geringeren Antwortpegel aufweisen [2, 3]. Eine detaillierte Analyse des Schwingungsverhaltens der Außenhülle zeigt, dass es über den untersuchten Frequenzbereich von 30 - 100 Hz zu häufigem Wechsel zwischen

Transversal- und Longitudinalerschwingungen, d.h. zwischen Schwingungen normal und parallel zu Außenhülle, sowie dem Auftreten von gemischten Schwingungsformen kommt [3].

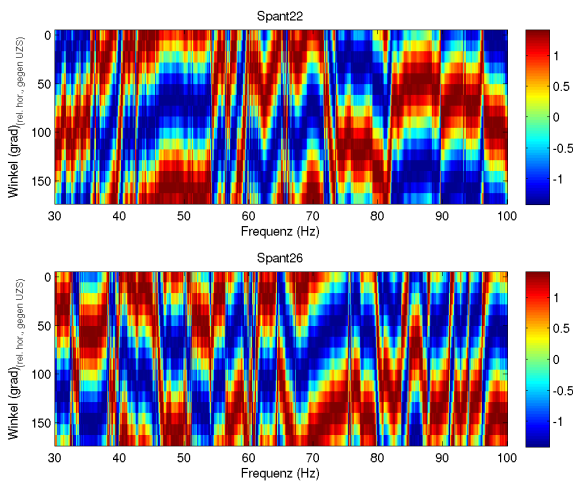


Abbildung 2: Phasenlage der Körperschallschwingungen an zwei Spanten im Abstand von $l = 4\text{ m}$ bei Anregung durch (langsamen) LFM-Luftschallsweep (Schwingungsebene rot). Transversalschwingungen, d.h. normal zur Schiffshülle, entsprechen einem Winkel von 40° , während Longitudinalerschwingungen, d.h. in Richtung der Hülle, einem Winkel von 130° entsprechen.

Diese Variabilität im Schwingungsverhalten kann man in Abb. 2 erkennen. Hier ist die Phasenlage der Schwingung, die sich aus der Projektion berechnen lässt, am jeweiligen Spant durch den Wert 1 (rot) dargestellt. Wegen der Ausrichtung des orthogonalen Aufnehmerpaars am Laborsystem und der Krümmung der Außenhülle am Messort entspricht ein Winkel von 40° einer Transversalschwingung und ein Winkel von 130° einer Longitudinalerschwingung. Transversalschwingungen sind prinzipiell abstrahlungsfähig.

Ein Vergleich der Phasenlage an Spant 22 und Spant 26, die einen horizontalen Abstand von nur $l = 4\text{ m}$ besitzen, zeigt eine hohe Variabilität nicht nur mit der Frequenz, sondern auch zwischen den beiden Messpunkten. Während z.B. im Bereich um 90 Hz an Spant 22 die transversale Komponente überwiegt, finden sich trotz der großen Wellenlängen von Biegeschwingungen im Stahl an Spant 26 vorrangig Longitudinalerschwingungen. Dieses prinzipielle Verhalten konnte durch Variation des Messaufbaus bestätigt werden.

Um den abgestrahltem Wasserschall als Antwort auf die Körperschallanregung der Schiffshülle zu untersuchen, sind simultane Messungen mittels Hydrophonen notwendig. Langsame Sweeps, wie sie für die Strukturanregung vorteilhaft sind, erfordern stationäre Messbedingungen, wie sie z.B. bei vom Schiff abgehängten Hydrophonen [2, 3] oder in der Messstelle Aschau gegeben sind. Tieffrequente Wasserschallmessungen sind hingegen nur unter Freifeldbedingungen optimal durchzuführen. Abb. 3 zeigt ein Spektrogramm eines Vorbeilaufes mit $3,5\text{ Kn}$ von FS PLANET an einem frei driftenden, vertikalen

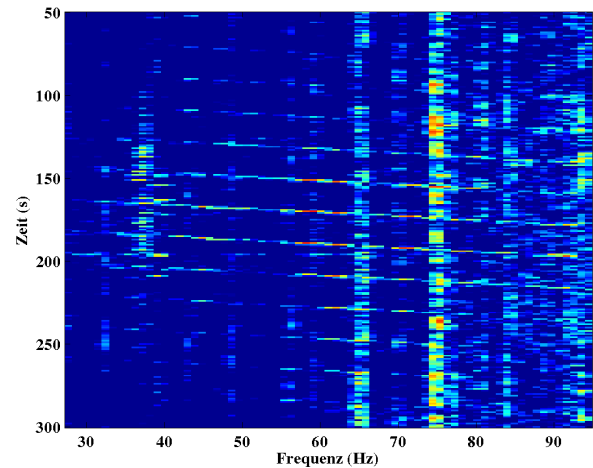


Abbildung 3: Wasserschallpegel bei Vorbeifahrt von FS PLANET an einem frei driftenden vertikalen Hydrophonarray. Anregung der Schiffshülle erfolgt mittels einer Folge von (schnellen) LFM-Luftschallsweeps, aufsteigend von 30 Hz bis 100 Hz mit $\frac{df}{dt} = 4\frac{\text{Hz}}{\text{s}}$.

Hydrophonarray mit einem akustischen Schwerpunkt bei 61 m Tiefe. Der minimale Abstand zur Boje, der ca. bei 170 s erreicht war, betrug 80 m . Die Sweeprate mußte wegen der transienten Messbedingungen mit $\frac{df}{dt} = 4\frac{\text{Hz}}{\text{s}}$ deutlich höher als bei den stationären Messungen gewählt werden. Dennoch zeigt diese Messungen, dass die Untersuchung der Korrelation von Körper- und Wasserschall mittels Luftschallanregung im Freifeld prinzipiell möglich sind.

Zusammenfassung

Schiffsstrukturen können im tieffrequenten Bereich durch Luftschall *flüchtig* angeregt und detailliert untersucht werden. Die räumliche Analyse des Schwingungsverhaltens zeigt die hohe Variabilität der Schwingungsmoden, was die Komplexität des Schwingungssystems Schiff trotz der geometrisch einfachen äußeren Form der Außenhülle unterstreicht. Messungen mit FS PLANET und einem frei driftenden, vertikalen Hydrophonarray im Sognefjord, Norwegen, haben gezeigt, dass tieffrequente Luftschallanregungen unter Freifeldbedingungen prinzipiell möglich sind.

Literatur

- [1] V.Nejdl, J.Ehrlich, C.Kubaczyk: Freefield Measurement of Radiated and Structure Borne Sound of a Ship. Proceeding of the Joint Congress CFA/DAGA (2004), 337-338
- [2] E.Schmidtke, J.Abshagen, V.Nejdl: Tieffrequente Anregung von Schiffsstrukturen mit Luftschall. Fortschritte der Akustik, DAGA (2007), 419-420
- [3] Ch.Will, E.Schmidtke, J.Abshagen, V.Nejdl: Körperschall-Wasserschall-Korrelation bei nieder- und mittelfrequenter Luftschallanregung. Fortschritte der Akustik, DAGA (2010), 699-700