

# Modifizierte TPA für die Prognose der Schallabstrahlung von Überwasser-Schiffen

Carsten Zerbs<sup>1</sup>, Ingmar Pascher<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Müller-BBM GmbH, 22305 Hamburg, Deutschland, Email: Carsten.Zerbs@mbbm.com

<sup>2</sup> Müller-BBM GmbH, 82152 Planegg, Deutschland, Email: Ingmar.Pascher@mbbm.com

## Einleitung

Die akustische Signatur ist ein wichtiges Kriterium zur Detektion und Klassifikation von Schiffen. In vielen Situationen ist eine zeitnahe Information der Besatzung zur aktuellen akustischen Signatur des eigenen Schiffes notwendig. Mögliche Anwendungsgebiete sind beispielsweise spezielle Anforderungen in der Marine oder die Bewertung des Einflusses von Lärm auf die maritime Umwelt.

Für solche Zielsetzungen wurde ein auf der operationellen Transferpfadanalyse basierendes Verfahren entwickelt und in der Anwendung optimiert. Vom Schiff abgestrahlter Schall wird aus an Bord gemessenen akustischen Größen wie z. B. Körper-, Luft- oder Fluidschall berechnet. Die Sensoren hierfür sitzen an Bord auf Geräuscherzeugern, Plattformen und auf der Außenhaut des Schiffes.

Die Modellerstellung und die nötigen Messverfahren werden beschrieben. Anwendungsbeispiele sind Systemuntersuchungen, Troubleshooting und - in Kombination mit akustischem Monitoring - die Integration in Online-Überwachungssysteme. Es wird eine Modifikationen des Verfahrens für unterschiedliche Anwendungsfälle vorgestellt.

## Prognose der akustischen Signatur von Schiffen

### Prognose Signatur

Verschiedene Fragestellungen erfordern, dass der Besatzung aktuelle Informationen zum akustischen Zustand eines Schiffes zur Verfügung gestellt wird. Dies betrifft etwa das Passieren von sensitiven Seegebieten oder die Bewertung der aktuellen akustischen Situation. Das messtechnische Erfassen des aktuell abgestrahlten Wasserschalls (Signatur) ist im Einsatz im Allgemeinen nicht möglich. Ersatzweise können Kriterien angewendet werden, die aus der Maschinenüberwachung stammen. Das sind beispielsweise Grenzwerte für den Körperschall. Dieser wird dazu an geeigneten Schnittstellen kontinuierlich im Betrieb erfasst und bewertet, d. h. Grenzkurven gegenübergestellt. Eine natürliche Erweiterung dieser Vorgehensweise besteht darin, aus den aktuellen Messdaten eine Abschätzung des abgestrahlten Wasserschalls zu berechnen, wie es z. B. in [1] mit der Anwendung für Unterwasserschiffe vorgestellt wurde.

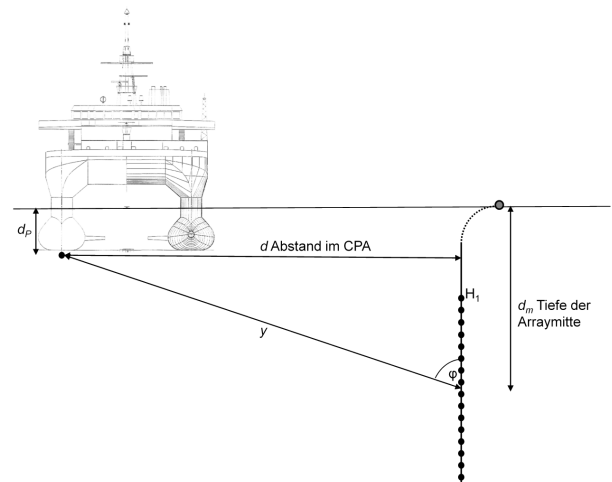
### Transferpfadanalyse für Schiffe

Die Entwicklung der Konzepte der Transferpfadanalyse (TPA) wurde ursprünglich in der automobilen Fahr-

zeugakustik vorangetrieben. Während in der „klassischen“ TPA die Übertragungsfunktionen explizit messtechnisch erfasst werden (was für große Systeme oftmals unpraktikabel ist), erlaubt es die Betriebs- oder operationelle Transferpfadanalyse (OTPA), das Übertragungsverhalten aus Messungen im Betrieb zu ermitteln [2].

### Akustische Messungen

Im Zeitraum von 2011 bis 2013 wurden im Rahmen einer umfangreichen Messkampagne [3] akustische Daten von Überwasserschiffen erhoben. Ziel der hier vorgestellten Untersuchungen war es, ein auf den Messdaten des Forschungsschiffes FS PLANET basierendes Prognosemodell zu erstellen und die Eignung des Verfahrens zur Prognose der akustischen Signatur für Überwasserschiffe zu prüfen. Während der Messungen wurde der Wasserschall des



**Abbildung 1:** Vertikaler Schnitt durch die Messstrecke, FS PLANET passiert während des Überlaufs ein Hydrofon-Array.

Schiffes während zahlreicher Vorbeifahrten erfasst. Für Tiefwasserversuche ist die Messkonfiguration beispielhaft in Abbildung 1 dargestellt, hierbei erfolgt die Aufzeichnung des Wasserschalls mit einem Messsystem, das in der Boje des Hydrofonarrays integriert ist, Körperschall wurde gleichzeitig an Bord erfasst. Überläufe wurden durchgeführt für verschiedene Fahrtgeschwindigkeiten, Betriebs-, Last- und Schaltzustände.

Neben den akustischen Datensätzen wurde auf beiden Messsystemen die GPS-Position, die GPS-Zeit und zusätzliche Trigger- und Synchronisationssignale aufgezeichnet.

## Aufbereitung der Messdaten

Die der OTPA zugrundeliegenden Datensätze sollten idealerweise synchron für allen Messkanäle vorliegen. Da die Körperschall- und Wasserschalldatensätze mit unterschiedlichen Messsystemen erfasst werden, ist eine nachträgliche Synchronisation erforderlich. Laufzeituntersuchungen an den synchronisierten Datensätzen zeigen, dass dies mit einer Genauigkeit von bis zu 1 ms möglich ist.

## Anmerkungen zur Theorie

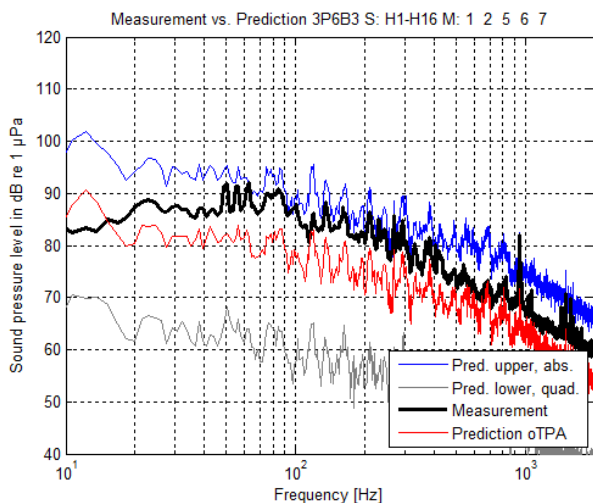
Der Ansatz der OTPA besteht darin, aus der Gleichung

$$p(f, t_m) = \sum_{n=1}^N H_n(f) \cdot a_n(f, t_m) \quad (1)$$

die gesuchten Übertragungsfunktionen  $H_n$  zu bestimmen. Dabei sind  $a_n$  und  $p_n$  die Spektren von Beschleunigung und Schalldruck,  $n$  indiziert die Messstellen und  $m$  die Messstufen (Zeitblöcke). Das Gleichungssystem ist überbestimmt und wird im Sinne kleinster Fehlerquadrate gelöst.

## Ergebnisse

Vergleiche von berechneten Prognosen mit Messdaten zeigen, dass die OTPA in der Lage ist, eine aktuelle Signatur zumindest zufriedenstellend vorherzusagen. Allerdings liegen die Prognosen tendenziell meist zu niedrig. Ein Beispiel zeigt Abbildung 2.



**Abbildung 2:** Beispielhafte gegenüberstellung von Messung und Prognose mittels OTPA sowie unterer und oberer Abschätzung.

## Modifikation der TPA

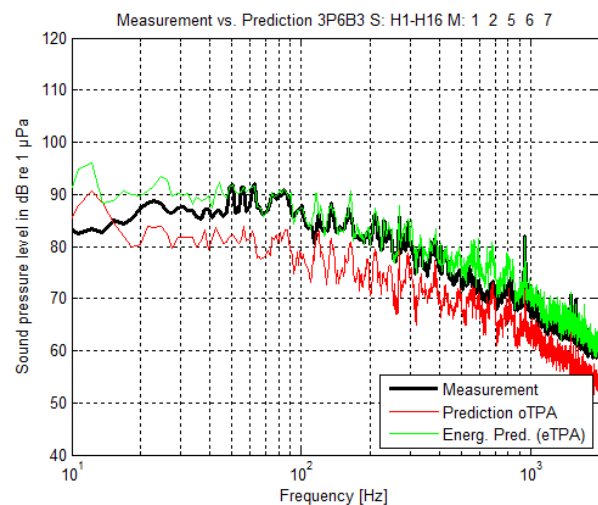
Eine Sichtung der Körperschalldaten zeigt, dass die Anregung auf der Außenhaut, die mit den abgestrahlten Signaturanteilen korrelieren sollte, fast ausschließlich stochastisch durch Strömungsanregung erfolgt. Diskrete Frequenzlinien, wie sie von Maschinen erzeugt werden, sind kaum zu finden. Damit wäre eine energetische Summation der unterschiedlichen Signaturanteile

möglicherweise ein Ansatz für eine Prognose der akustischen Signatur:

$$|p_{\text{energ}}(f, t_m)|^2 = \sum_{n=1}^N w_n(f) \cdot |a_n(f, t_m)|^2. \quad (2)$$

Dieses Gleichungssystem kann ebenfalls im Sinne der kleinsten Fehlerquadrate gelöst werden. Es können die gleichen Eingangsdatensätze wie für Gleichung 1 verwendet werden, als Lösung ergeben sich reelwertige Übertragungskoeffizienten. Im Gegensatz zur operativen TPA wird diese Vorgehensweise als energetische TPA (ETPA) bezeichnet.

Abbildung 3 vergleicht die mit beiden Verfahren berechneten Prognose mit einem Messdatensatz. Die ETPA gibt



**Abbildung 3:** Vergleich von Messung, Prognose mittels OTPA und ETPA für einen beispielhaften Überlauf.

das Ergebnis wesentlich besser wieder. Abweichungen beruhen zum Teil auf der Entfernung zwischen Schiff und Hydrofon während der Messung, die nicht kompensiert wurde.

## Zusammenfassung und Ausblick

Es wurde ein modifiziertes Verfahren der Transferpfadanalyse zur Prognose der akustischen Signatur von Schiffen vorgestellt, das auf einem energetischen Ansatz beruht. Eine Kombination mit der klassischen TPA wird geprüft, beispielsweise wenn unterschiedliche Anregungsmechanismen der Schiffsstruktur vorliegen.

## Literatur

- [1] Zerbs, C.; Pascher, I.: Akustisches Monitoringsystem und Wasserschallprognose für Schiffe. DAGA 2005.
- [2] Lohrmann, M.; Hohenberger, T.: Operational Transfer Path Analysis: Comparison with conventional methods. DAGA 2008.
- [3] Nejedl, V.; Stoltenberg, A.; Schulz, J.: Free-field measurements of the radiated and structure borne sound of RV PLANET. ECUA2012.