

Fragliche hydroakustische Messgenauigkeit von Schiffen

Stefan Schäl

Wehrtechnische Dienststelle für Schiffe und Marinewaffen, Maritime Technologie und Forschung (WTD 71)

Akustischen Messstellen und Akustische Signaturen; E-Mail:Stefanschael@bundeswehr.org

Einleitung

Die hydroakustischen Vermessungen von Schiffen und Booten gewinnen in Bezug auf Untersuchungen und Wirkung auf die maritime Umwelt zunehmend an Bedeutung. Die Wirksamkeit von reduzierenden Maßnahmen der Schallemissionen unter Wasser kann durch frequenzabhängige Grenzkurven überprüft werden. Die Messtechnik, das Verfahren, das Messobjekt selbst und der Messort bestimmen die Unsicherheiten der Vermessung zur Validierung der Einhaltung der akustischen Forderungen.

Die WTD 71 betreibt zwei hydroakustische Messstellen. Eine Flachwasser- und eine Tiefwassermessstelle. Marineschiffe und auch beauftragte Vermessungen von Fischereiforschungsschiffen werden an diesen Messstellen durchgeführt. Die bewerteten Messergebnisse werden den Grenzkurven gegenübergestellt und Überschreitungen analysiert und ggfs. Nachbesserungen initiiert. Messunsicherheiten werden in diesem Prozess berücksichtigt.

Im ersten Abschnitt werden mögliche Einflussgrößen auf das Messergebnis beschrieben und mit Beispielen belegt. Ergebnisse akustischer Vermessungen anderer Organisationen oder an anderen Messstellen lassen sich nicht immer übereinstimmend vergleichen. Verfahren und Messtechnik und insbesondere die Charakteristiken der Messorte unterscheiden sich erheblich.

Im folgenden Abschnitt werden die Verfahren erläutert, wie die natürlichen Unsicherheiten auf ein Mindestmaß reduziert werden können.

Beschreibung der möglichen Einflussgrößen

Die Erfassung der Unterwasserschallemissionen eines Schiffes oder Bootes erfolgt mit kalibrierten Hydrophonen. Die Unsicherheiten dieser Messgröße können nicht weiter reduziert werden. Mit der folgenden vereinfachten SONAR Gleichung werden die weiteren Beiträge der möglichen Abweichungen zur Messgröße untersucht.

$$SL = SPL_{Hy} + PL + A \quad [dB] \quad (1)$$

Der gemessene Pegel am Hydrophon wird um den Betrag der Schallausbreitungsverluste zwischen Hydrophon und Messobjekt korrigiert. Die möglichen Anomalien werden herausgefiltert oder die Vermessung wird wiederholt.

Die Rohdaten am Hydrophon werden in einem festgelegten Verfahren analysiert und über einen zeitlichen Abschnitt

während des Passierens des Messobjektes an den Sensoren gemittelt. Der Anteil der Ausbreitungsverluste ist von vielen Parametern abhängig, die hier noch weiter beschrieben werden.

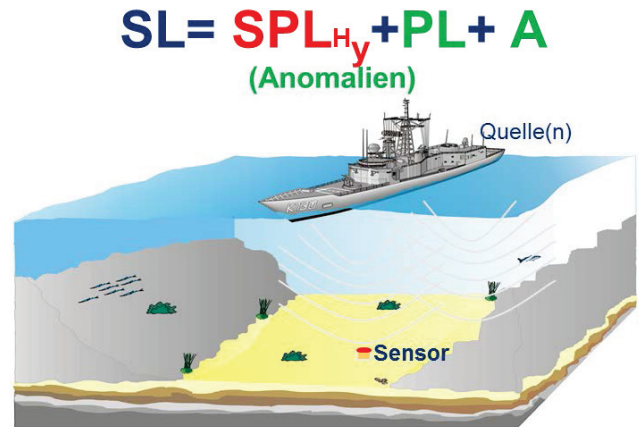


Abbildung 1: vereinfachte SONAR Gleichung in Messumgebung. SL: Sourcelevel ist die Zielgröße, die gemessen werden soll. SPL_{Hy} Messgröße am Sensor, PL sind die Ausbreitungsverluste im Medium und A die Anomalien wie Fremdschiffe oder andere Quellen

Die Ausbreitungsverluste PL sind u.a. abhängig von der Wassertiefe, Temperatur, Schichtung in der Wassertiefe, Frequenz, Meeresboden, Wasseroberflächenrauigkeit, und Blaseneintrag in der Wasseroberfläche. Der Unterscheidung Nahfeld und Fernfeld mit ihren Auswirkungen ist von der Messgeometrie und Frequenz abhängig.

Einige Parameter lassen sich anhand der spektralen Pegel im Zeitschrieb mit ihren Auswirkungen erkennen.

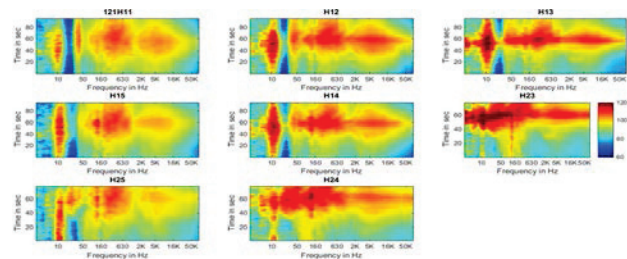


Abbildung 2: Darstellung des Spektrums einer Quelle an zwei Messstellen (H1x,H2x). Die Hydrofone H13 und H23 stehen direkt im Kurs (Kiel Aspekt) und die H11,H12 backbords und H14,H15,H24, steuerbords.

Insbesondere die Auslöschung der Pegel im Frequenzbereich zwischen 16-40 Hz in Abb. 2 zeigt

beispielhaft den Einfluss des Meeresbodens. Die gashaltige Bodenschicht an den Hydrophonen H 1x unterscheidet sich im Reflexionsverhalten deutlich vom sandigen Untergrund der Hydrophone H 2x. Die Bilder der 40m und 80 m seitlich erfasster Spektralpegel steuerbords und backbords stimmen weitgehend überein. Die Schallausbreitungsverluste sind in der Abbildung 2 durch die farbliche Kodierung der Pegel erkennbar.

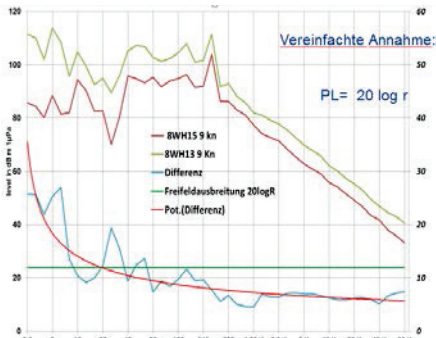


Abbildung 3 Schallausbreitung in einer Wassertiefe von 20m. Terzpegel im Kielaspekt und im Beamaspekt in 80m Abstand. Rechte Achsenbezeichnung präsentiert die Pegel der Ausbreitungsdifferenz zwischen 0m und 80 m seitlichen Abstand zum Kurs

Die Annahme der sphärische Schallausbreitung mit

$$PL = 20 \log R \quad [dB] \quad (2)$$

kann nur annähernd im Flachwasser gelten. Die frequenzabhängige Reduzierung am Beispiel der Differenz zwischen zwei Messreihen von Hydrophonen in Abstand von 80 m in Abbildung 3 verläuft im Terzspektrum exponentiell. Die frequenzabhängigen Differenzen zwischen der sphärischen und der tatsächlichen Ausbreitung sind durch die Bodeneigenschaft, des Dipolverhaltens und der Nahfeldeffekte begründet. Ab der 315 Hz Terz entspricht die Schallausbreitung der einer zylindrischen Ausbreitung. Die Kombination von Kiel- und Beamhydrophonen mit entsprechenden Verfahren geben für die Bewertung des Messergebnisses eine hinreichend genaue Analyse.

In der Messtechnik werden Unsicherheiten mit statistischen Methoden beschrieben. Die Voraussetzung hierfür ist eine ausreichende Wiederholrate der Vermessungen. Hydroakustische Vermessungen von Schiffen sind aufwendig und Wiederholungen in einer hohen Anzahl nicht möglich. Zudem ist die Kooperationsbereitschaft der Schiffsführung erforderlich. Aussagen zu absoluten Pegel sollten aber zumindest mit einer Wiederholung bestätigt werden können. Eine weitere Zuverlässigkeit einer Vermessung lässt sich durch eine Matrixanordnung von Sensoren erreichen.

Die Messung beginnt mindestens eine Schiffslänge vor dem *Closest Point of Approach* (CPA) und endet eine Schiffslänge nach Passieren des CPAs. Die Dauer des Messfensters ist abhängig von der Schiffslänge. Verfahren die feste Winkel nutzen, reduzieren u.U die Pegel im Mittelungsverfahren oder können die Maximalwerte nicht aufzeichnen.

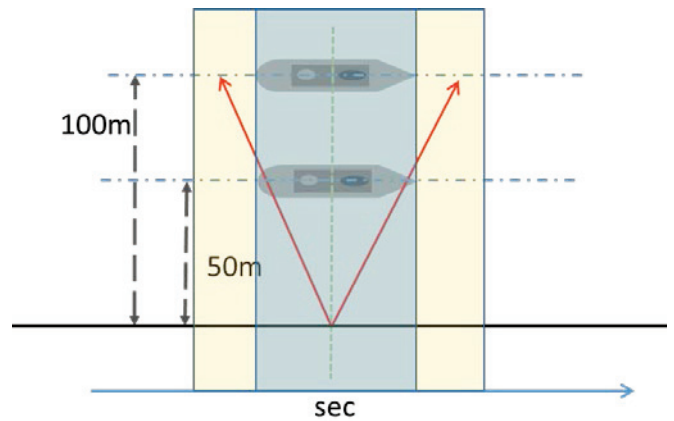


Abbildung 4 Erfassung des Bewertungsfensters mit festen Winkel oder über die Schiffslänge

Die unterschiedlichen Ansätze, die die Dauer des Bewertungsfensters festlegen, weisen entsprechend Differenzen auf. Ein Vergleich eines Messobjektes, bewertet mit unterschiedlichen Zeitfenstern, ist nicht möglich. Zu beachten sind die Analysen über die gesamte Schiffslänge. Bei langen Schiffen mit den Hauptgeräuschquellen im hinteren Schiff werden die Pegel in den Mittelwertbildung reduziert. Die weiteren Analyse-Schritte sind in einem Messbericht zu beschreiben. Ein einzelnes Messergebnis ist sonst nicht mit anderen Messungen an anderen Messstellen zu vergleichen. Dem Bericht hinzu zufügen kommen Aussagen zum Transformationsprozess in den Frequenzbereich, Mittelungsverfahren, Gewichtungen und zur geometrischen Anordnung der Messsensoren.

Die notwendige Kalibrierung der Sensoren und der Messeinrichtung sind Voraussetzungen eines Messbetriebes. Der Abgleich der gesamten Messkette ist zu berücksichtigen. Die dem Gesamtsystem zu zurechneten Unsicherheit wird maßgeblich durch die Sensorkalibrierung bestimmt. Damit kann die technische Ausstattung mit einer relativen kleinen Unsicherheit angegeben werden.

Zu jeder Messung ist eine Hintergrundgeräuschmessung aufzuzeichnen. Die Häufigkeit dieser Maßnahme richtet sich nach Änderungen der Wetterlagen und der Tageszeit. Ein Signal/Rauschverhältnis von 10 dB hat keinen Einfluss auf das Ergebnis. Liegen die Pegel darunter ist eine Korrektur notwendig. Insbesondere im hohen Frequenzbereich nimmt das Signal/Rauschverhältnis ab. Die Dämpfung der hohen Frequenzen addiert sich zu den Schallausbreitungsverlusten.

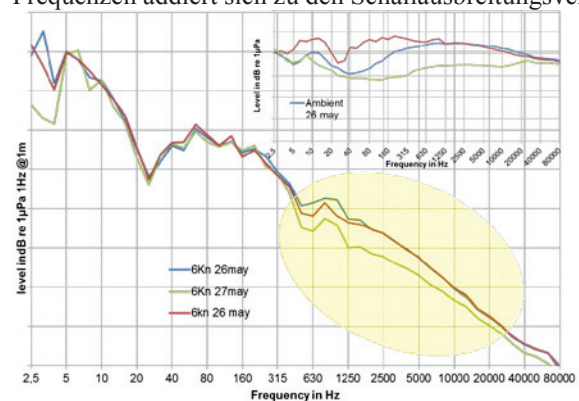


Abbildung 5: Hintergrundgeräusch beeinflusst den oberen Frequenzbereich. Vergleich einer gleichen Quelle an zwei aufeinanderfolgenden Tagen.

Der Norm entsprechend werden die Bezugsgrößen für die Pegel in 1 μPa ref 1 m angegeben. Die Abstandberechnung und damit die Kursüberwachung in Bezug zu den Sensoren wird an der WTD 71 in Echtzeit durch ein separates DGPS System an Bord des Messobjektes ermöglicht. Die Positionsdaten werden über eine Telemetrieübertragung ins Messhaus gesendet. Verfügbare AIS Information sind für das Messverfahren der WTD 71 nicht geeignet.

Zusammenfassung

- Messverfahren der WTD 71 entsprechen dem Stand der Technik und den NATO Standards
- Technische Einrichtung der hydroakustischen Messstellen der WTD 71 sind in Europa einzigartig
- Jede Messreihe wird wiederholt um Zufälligkeiten zu vermeiden
- Kommunikation und Kooperation mit Messobjekt notwendig
- Trackabweichung nur bis 5m zugelassen
- Matrixanordnung der Unterwasser installierten Mess-Sensoren extrahieren die Signatur
- Kombinationen und Vergleiche Tief und Flachwasser verringern die Bodeneffekte der Flachwassermessung

Literaturverzeichnis

- [1] Handbuch der Wasserschalltechnik Heinz G. Urban,2. Auflage STN Atlas Elektronik GmbH
[2] ANSI/ASA S12.64-2009 Part 1