

Methoden – und Softwarevergleich zur numerischen Berechnung der Schallausbreitung und –abstrahlung einer Schiffsstruktur

Sandra Buss-Eertmoed¹, Insa Bech¹, Gerrit Langer²

¹ thyssenkrupp Marine Systems GmbH, Zum Zungenkai, 26725 Emden, sandra.buss-eertmoed@thyssenkrupp.com

² thyssenkrupp Marine Systems GmbH, Hermann-Blohm-Straße 3, 20457 Hamburg

Einleitung

Im Schiffbau spielt die Beherrschung der Schallausbreitung eine große Rolle, da es einerseits viele Schallquellen gibt, die auch Schall hoher Intensität abstrahlen wie z.B. Antriebsmotoren. Andererseits ist es von Bedeutung, möglichst niedrige Schallpegel in den Aufenthaltsbereichen, insbesondere den Ruhebereichen, der Besatzung zu erzielen. Für die Schallausbreitung ist neben der Luftschall- die Körperschallausbreitung sehr bedeutend. Maschinenschwingungen werden über das Fundament in die Schiffsstruktur eingeleitet, als Körperschall weitergeleitet und als Luftschall in andere Räume abgestrahlt. Aufgrund der Größe und Komplexität eines Schiffes stellt die Prognose von Schallpegeln im Schiff eine große Herausforderung dar. Dabei ist im Schiffbau eine Prognose der Schallausbreitung wichtig, da es keinen Prototypen gibt und akustische Fehler in der Konstruktion daher später kostspielige und zeitintensive Nachbesserungen am fertigen Schiff erfordern.

Motivation

Ziel dieser Untersuchung ist es, ein numerisches Prognosetool für die Schallausbreitung in einem Schiff sowie die Abstrahlung ins umgebende Wasser zu finden. Während die Finite Elemente Methode (FEM) und die Randlemente Methode (BEM) für kleine Ausschnitte der Schiffsstruktur bzw. einzelne Aggregate verwendet werden können, kommen für eine Untersuchung einer kompletten Schiffsstruktur aufgrund ihrer Größe eher energiebasierte Verfahren in Frage. Um sowohl komplexe Details als auch die Schiffsstruktur als Ganzes akustisch untersuchen zu können, scheint daher eine Kombination verschiedener Prognoseverfahren sinnvoll. Wichtige Randbedingungen für die Methodenauswahl sind die Größe des betrachteten Modells und der untersuchte Frequenzbereich. In einem Vergleich verschiedener kommerziell erhältlicher Softwares zur numerischen Schallberechnung wird deren Anwendbarkeit zur Prognose der Schallausbreitung und -abstrahlung im Schiffbau evaluiert.

In diesem Beitrag wird eine kleine, beispielhafte Stahlstruktur mit Hilfe von FEM und BEM betrachtet. Folgende mögliche Einflussparameter auf das Berechnungsergebnis werden untersucht: verwendete Software, Detaillierungsgrad der Geometrie und verwendete Berechnungsmethode.

Hier werden drei verschiedene Softwares (im Folgenden mit S1 bis S3 benannt) verglichen, die sich in ihrer Handhabung sowie in den implementierten Methoden und den zugrunde liegenden Solvern unterscheiden.

Untersuchte Schiffsstruktur

Numerische Berechnungen werden an einer beispielhaften Stahl-Schiffsstruktur der Größe 1,6 m x 1,85 m x 0,3 m

durchgeführt. Diese ist mit T-Trägern und Hollandprofilen versteift und enthält Erleichterungslöcher (siehe Abb. 1).

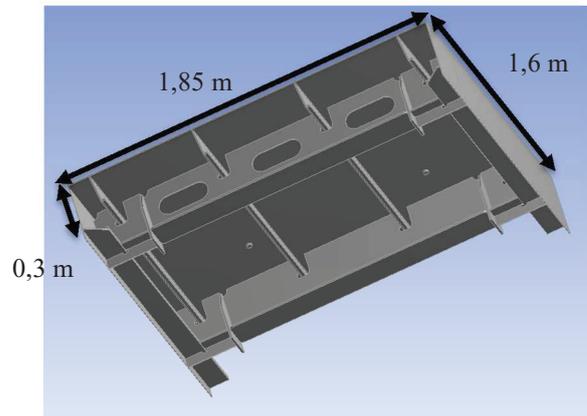


Abbildung 1: Untersuchte Schiffsstruktur, die mit Trägern und Hollandprofilen versteift ist.

Um eine bessere Vernetzung zu ermöglichen, wird die Geometrie zunächst vereinfacht, d.h. die Erleichterungslöcher werden gefüllt und Verrundungen begradigt (Modell 1, siehe Abb. 2a). Im zweiten Schritt der Vereinfachung der Struktur werden kleinere Versteifungen herausgenommen und die T-Träger durchgezogen (Modell 2, siehe Abb. 2b). Weitere Versteifungen und Hollandprofile werden im dritten Schritt entfernt (Modell 3, Abb. 2c). Im nächsten Schritt mit zwei Alternativen werden auch noch die großen Träger (Modell 4a, Abb. 3a) oder die Bleche an den Enden der Struktur entfernt (Modell 4b, Abb. 3b). Nach dem letzten Vereinfachungsschritt bleibt nur noch eine Stahlplatte übrig (Modell 5, Abb. 3c).

Modalanalyse

Im ersten Schritt wird eine Modalanalyse im Frequenzbereich bis 3 kHz durchgeführt. Hierbei werden die verschiedenen Softwares sowie die verschiedenen Geometriemodelle verglichen. Tab. 1 zeigt, dass es deutliche Unterschiede zwischen den Softwares in der Anzahl der berechneten Moden gibt. Mit abnehmender Komplexität der Geometrie nimmt bei allen Softwares die Anzahl der Moden ab.

Harmonische Analyse

Der zweite Analyseschritt besteht in einer harmonischen Analyse. Die Struktur wird mit einer Kraft von 1 N wie in Abb. 4 gezeigt angeregt. Auch bei den vereinfachten Geometrien erfolgt die gleiche Kräfteanregung.

Der Schnellepegel wird am Kräfteeinleitungspunkt und an einem weiteren Messpunkt bestimmt (siehe Abb. 4). Bei den vereinfachten Geometrien sind die Punkte entsprechend.

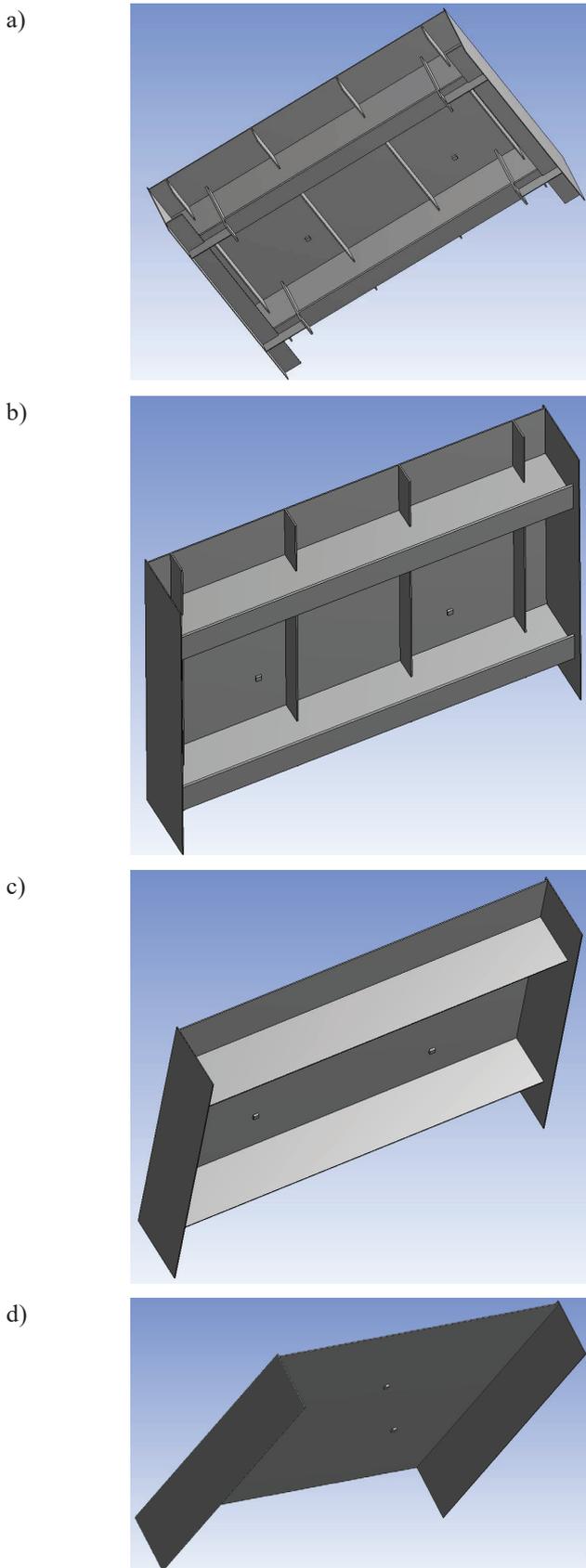


Abbildung 2: Vereinfachte Geometrien: a) Löcher gefüllt und Verrundungen begradigt, b) Entfernen kleiner Versteifungen und Durchziehen von Trägern, c) Entfernen von weiteren Versteifungen und Hollandprofilen, d) Entfernen der großen Träger.

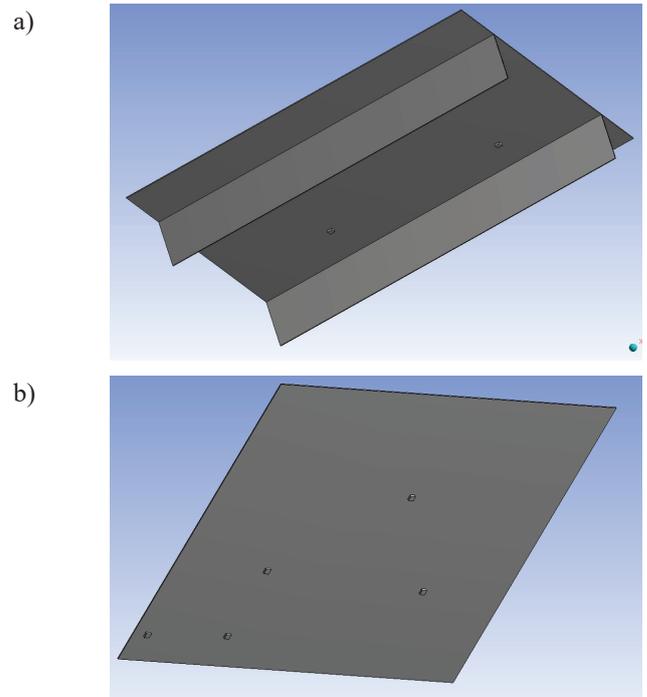


Abbildung 3: Vereinfachte Geometrien: a) Entfernen der Bleche an den Enden, b) Stahlplatte.

Tabelle 1: Modalanalyse: Anzahl Moden im Frequenzbereich bis 3 kHz.

Modell	Software		
	S1	S2	S3
1	242	60	*
2	232	45	863
3	152	35	840
4a	122	30	694
4b	176	37	658
5	104	22	484

* Die Modalanalyse von Modell 1 war mit Software S3 nicht berechenbar.

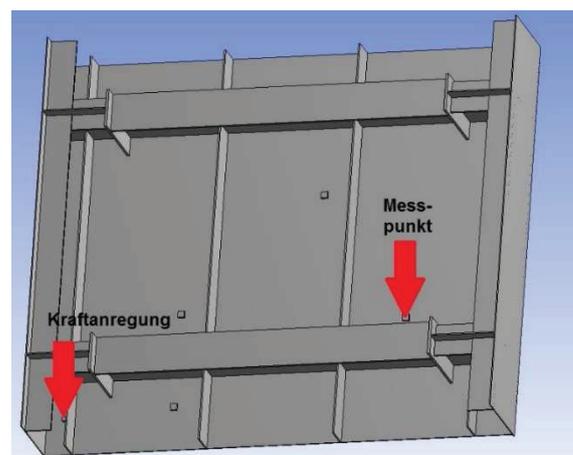


Abbildung 4: Kraftanregung mit 1 kN und Messpunkt.

Für die verschiedenen Modelle ergibt sich der in Abb. 5 gezeigte Schnellepegel am Anregepunkt. Mit zunehmender Komplexität der Struktur zeigt sich dabei i.a. ein leicht, aber nicht systematisch abnehmender Schnellepegel. Die Frequenzgänge unterscheiden sich zum Teil deutlich.

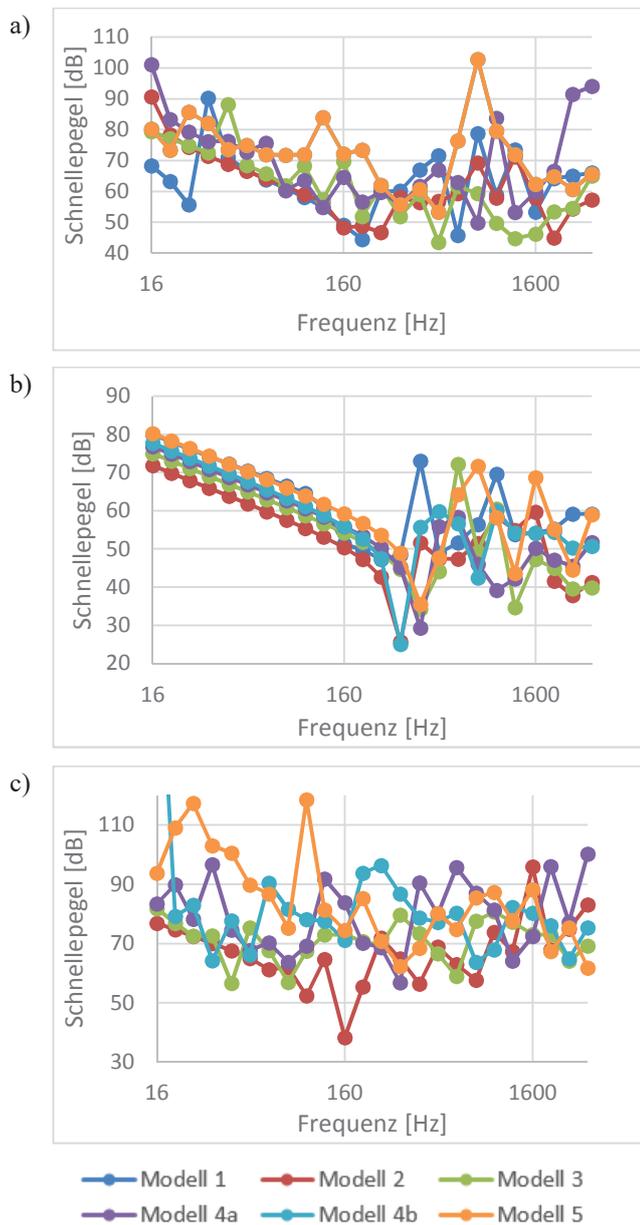


Abbildung 5: Schnellepegel am Anregungspunkt in Abhängigkeit von der Frequenz a) S1, b) S2, c) S3.

Zum Vergleich wird ein vom Anregungspunkt weiter entfernter Messpunkt 5 gewählt. Es ergibt sich für die verschiedenen Modelle der in Abb. 6 gezeigte Schnellepegel. Es zeigt sich die Tendenz, dass bei einer stärkeren Vereinfachung der Struktur der Schnellepegel steigt. Auch hier gibt es zwischen den Modellen Unterschiede im Frequenzgang.

Im nächsten Schritt werden die verschiedenen Softwares miteinander verglichen. In Abb. 7 sind die Schnellepegel am Anregungspunkt dargestellt. Die verschiedenen Softwares liefern relativ ähnliche Ergebnisse, zeigen aber teilweise Unterschiede im Frequenzgang. Mit höherer Frequenz werden die Unterschiede zwischen den Softwares größer.

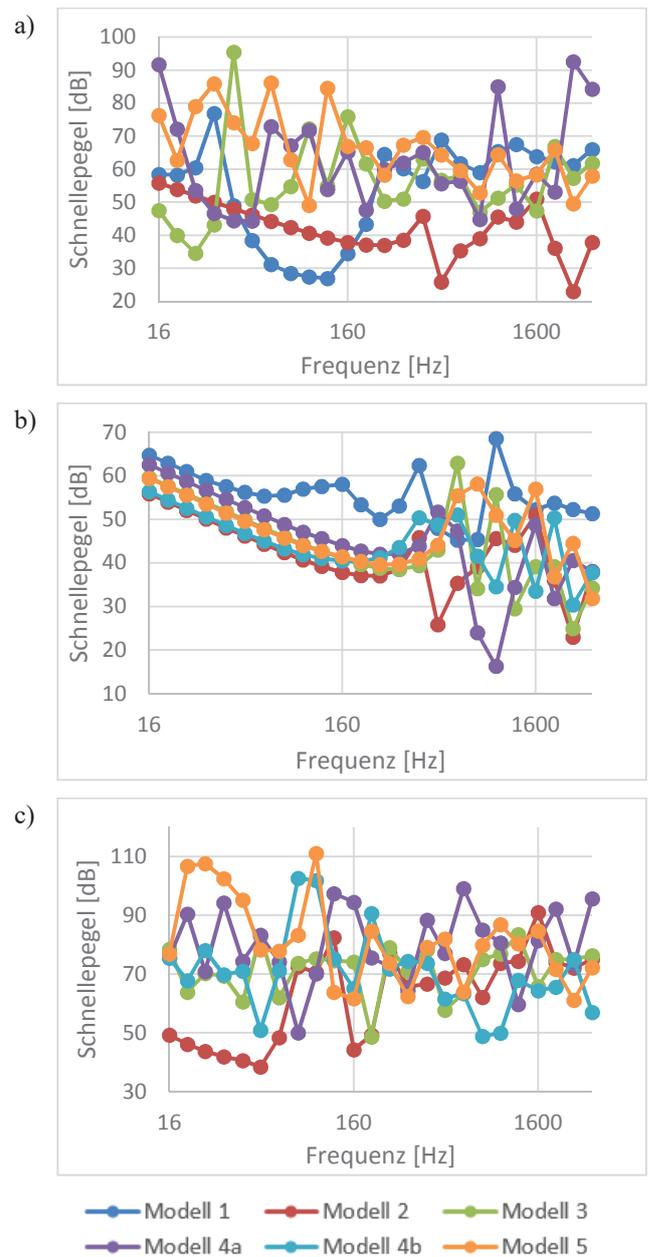


Abbildung 6: Schnellepegel am Messpunkt in Abhängigkeit von der Frequenz a) S1, b) S2, c) S3.

Schallabstrahlung: BEM

Die Schallabstrahlung in Luft wird mit Hilfe der BEM berechnet. Abb. 8 zeigt den abgestrahlten Schalleistungspegel für alle Modellvarianten. I.a. steigt mit abnehmender Komplexität der Struktur der abgestrahlte Schalleistungspegel. Speziell im höheren Frequenzbereich unterscheiden sich die Frequenzgänge zwischen den Modellen.

Abb. 9 enthält die Strahlungsleistung für alle Modelle. Die Strahlungsleistung liegt für alle Modelle in einer ähnlichen Größenordnung. Bis etwa 100 Hz wird kaum Schall abgestrahlt, darüber steigt die Strahlungsleistung. Je einfacher die Struktur ist, desto flacher ist der Frequenzgang.

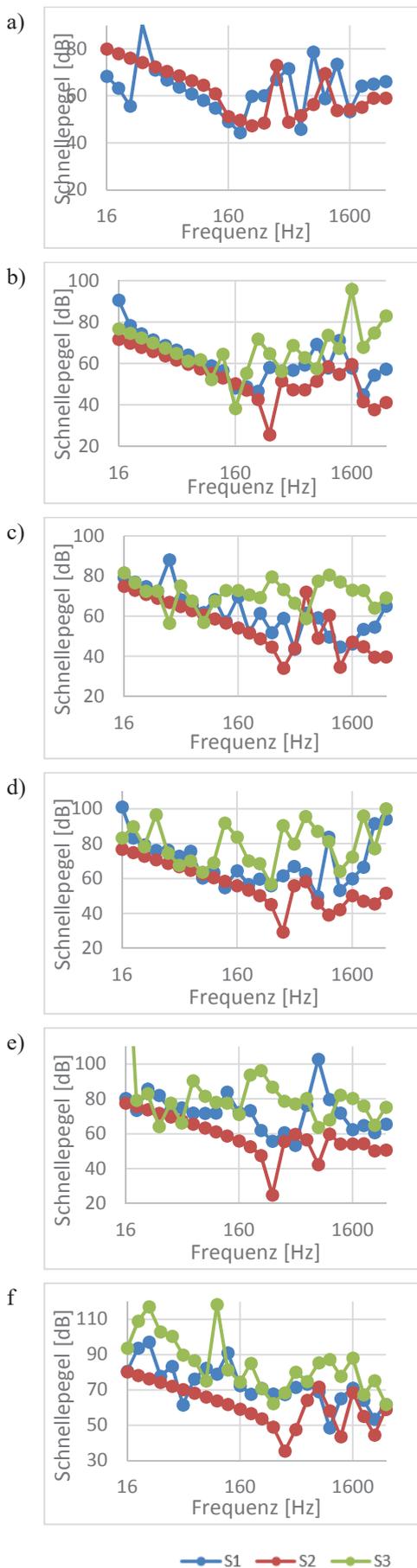


Abbildung 7: Schnellepegel am Anregepunkt in Abhängigkeit von der Frequenz (Softwarevergleich) a) Modell 1, b) Modell 2, c) Modell 3, d) Modell 4a, e) Modell 4b, f) Modell 5.

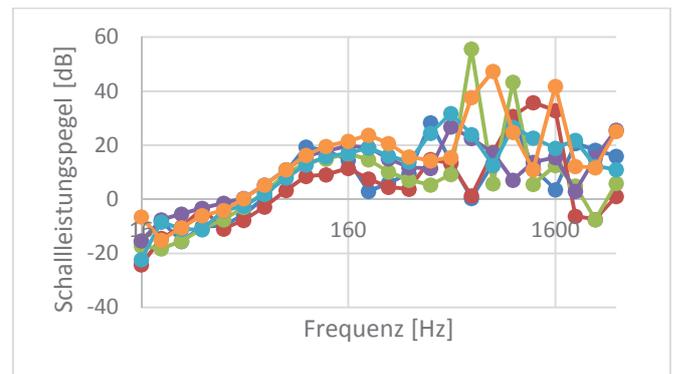


Abbildung 8: In Luft abgestrahlter Schallleistungspegel.

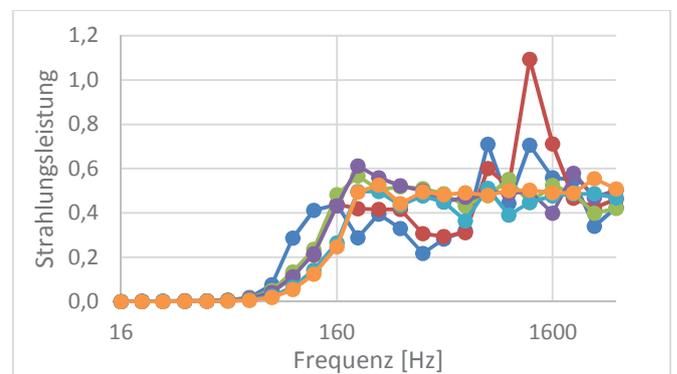


Abbildung 9: Strahlungsleistung in Luft.

Zusammenfassung

Mit dem Ziel, ein geeignetes numerisches Prognosetool für die Schallausbreitung und -abstrahlung auf Schiffen zu finden, werden verschiedene kommerziell erhältliche Softwares verglichen. Der Vergleich wird anhand einer kleinen Stahlstruktur durchgeführt und bezieht sich auf die Finite Elemente Methode und die Randelementemethode.

Eine Modalanalyse zeigt deutliche Unterschiede zwischen den Softwares. Übereinstimmend wird aber bei höherer Komplexität der Struktur eine größere Anzahl Moden berechnet.

Eine harmonische Analyse führt zu ähnlichen Ergebnissen bei allen Softwares, wobei es aber Unterschiede im Frequenzgang gibt. Auch eine Änderung der Geometrie hat Einfluss auf den Frequenzgang. Mit zunehmender Vereinfachung der Geometrie steigen tendenziell die Schnellepegel.

Auch bei der Schallabstrahlung wirkt sich eine Änderung der Geometrie auf den Frequenzgang aus.

Ausblick

Zur Berechnung der Schallabstrahlung werden verschiedene Softwares und Methoden verglichen. Um die Berechnungsergebnisse zu validieren, ist ein Vergleich mit Messwerten vorgesehen. Weiterhin werden energiebasierte Methoden in den Vergleich mit hineingenommen.