

Simulation akustischer Abstrahl- und Streuprobleme mit der transienten Randelementmethode

Michael Stütz¹

¹ Institut für Strömungsmechanik und Technische Akustik, 10587 Berlin, Deutschland, Email: Michael.Stuetz@tu-berlin.de

Einleitung

Das Randelementverfahren im Zeitbereich (TD-BEM) ist ein viel versprechender Ansatz zur Simulation transienter Probleme. Die Vorteile von Berechnungen im Zeitbereich liegen darin, dass auch transiente Prozesse wie z.B. Motor- und Getriebeparameter bei Hochlaufprozessen oder Bewegungen der Quellen modelliert werden können. Die Berechnung im Zeitbereich erfolgt schrittweise in der Zeit und der so erhaltene Zeitverlauf gibt Aufschluss über das akustische Verhalten eines ganzen Frequenzbereichs.

In früheren Arbeiten des Autors [1], [2] konnte gezeigt werden, dass sich im Inneren der Struktur ein Schallfeld aufbaut, welches nicht vom äußeren Schallfeld entkoppelt ist. Auch wenn die Beeinflussung des von der Struktur abgestrahlten Schallfeldes im gezeigten Beispiel in Abb.1 kleiner 1 dB ist, so lässt sich doch nicht ausschließen, dass für andere Fälle ein wesentlich stärkerer Einfluss bzw. sogar instabiles Verhalten möglich ist. Die TD-BEM Methode konnte erfolgreich auch auf Streuprobleme angewendet werden (Abb.2). Aber auch hier zeigt sich der Einfluss der Innenraummoden (Abb.5). Aufgrund der Kürze dieser Veröffentlichung wird an dieser Stelle nicht weiter auf die theoretischen Grundlagen der TD-BEM eingegangen. In den eingangs zitierten Arbeiten lässt sich Näheres dazu finden.

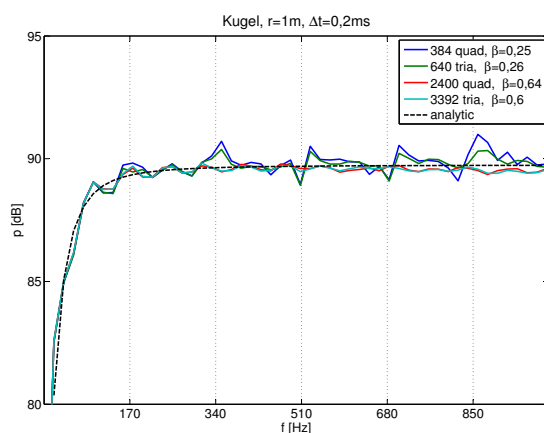


Abbildung 1: Einfluss der Innenraummoden auf die Schallabstrahlung einer atmenden Kugel ($r = 1m$) mit unterschiedlicher räumlicher Diskretisierung (tria=Dreiecke, quad=Vierecke) und gleichbleibendem Zeitschritt $\Delta t = 2ms$.

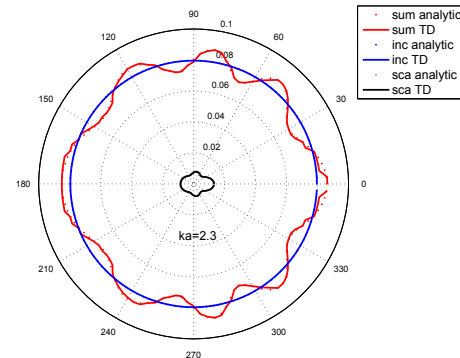


Abbildung 2: Streuung einer ebenen Welle ($f = 125Hz$) an einer Kugel ($r = 1m$), Richtcharakteristik des einfallenden (inc), des gestreuten (sca) und des resultierenden (sum) Schallfeldes

Chief Methode

Bei BEM Rechnungen im Frequenzbereich ist der Einfluss der Innenraummoden ein bekanntes Problem (Non-uniqueness Problem). Bekannte Lösungsansätze sind die Burton-Miller Methode [3] und die CHIEF-Methode von Schenk [4]. Der Ansatz der CHIEF-Methode lässt sich problemlos mit dem bestehenden BEM-Ansatz kombinieren. Zusätzlich zu den Kollokationspunkten, mit denen das Gleichungssystem zur Berechnung des Schalldrucks auf der Strukturoberfläche aufgestellt wird, platziert man sogenannte CHIEF-Punkte in den Innenraum der Struktur. In diesen CHIEF-Punkten wird der Schalldruck zu Null gesetzt, um zu erzwingen, dass sich im Inneren kein Schallfeld ausbildet. Man erhält folgendes überbestimmtes Gleichungssystem

$$\begin{bmatrix} H_g \\ H_g^c \end{bmatrix} \hat{p}_g = \begin{bmatrix} \hat{\phi}_g \\ -\hat{\phi}_g^c \end{bmatrix} \quad (1)$$

in dem die erste Zeile, der Berechnung des Schalldrucks \hat{p}_g in den Kollokationspunkten entspricht, welche nun durch die 2. Zeile, den CHIEF-Punkt Ansätzen, erweitert wurde. Normaler Weise erfolgt die Berechnung des Schalldrucks schrittweise in der Zeit. Jedoch zeigte die CHIEF-Methode bei der schrittweisen Berechnung keine Auswirkungen auf das innere Schallfeld. Erst die Anwendung auf die Gesamtlösung des Problems zeigt den gewünschten Erfolg. Mit "Gesamtlösung des Problems" ist die Lösung des Schalldrucks in allen Kollokationspunkten zu allen Zeitpunkten gemeint. Die Systemmatrix H aus Gleichung (1) ist, wie in Abb.3 dargestellt, zu groß, um diese noch im Arbeitsspeicher abbilden zu können. Nur da es sich bei den H_g und H_g^c Matrizen,

aus denen die Systemmatrix zusammengesetzt ist, um sogenannte Toeplitz Matrizen handelt, ist es möglich eine Funktion zu schreiben, welche eine Matrix-Vektor-Multiplikation durchführt, ohne die Systemmatrix aufstellen zu müssen. Damit lässt sich Gleichung (1) mit der LSQR-Methode iterativ lösen. Dies ist numerisch sehr viel anspruchsvoller und rechenaufwendiger als der schrittweise Lösungsprozess.

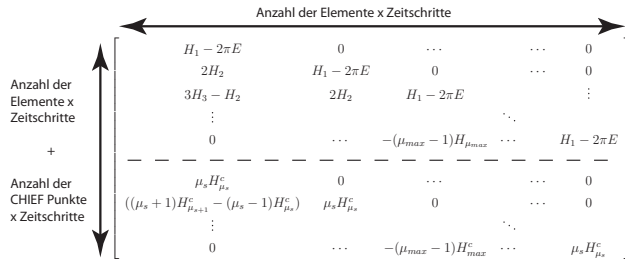


Abbildung 3: Größe der Systemmatrix H aus Gleichung (1)

Ergebnisse

Wie man der Abb.4 entnehmen kann, lässt sich der Einfluss der Innenraummoden auf die Schallabstrahlung einer atmenden Kugel mit der CHIEF Methode erfolgreich minimieren. Im Fall der Streuung an einer Kugel (Abb.5) lässt sich allerdings keine Verbesserung des gestreuten Schallfeldes durch Anwendung der CHIEF-Methode beobachten. Da das Streufeld unsymmetrisch wird, kann man vermuten, dass es hier noch einen Fehler in der Anwendung der CHIEF-Methode gibt. In zukünftigen Arbeiten kann hoffentlich auch die erfolgreiche Anwendung der CHIEF-Methode für Streuprobleme gezeigt werden. In Abb.1 und Abb.5 lässt sich auch erkennen, dass der Einfluss der Innenraummoden auf das äußere Schallfeld bei feiner Oberflächendiskretisierung verschwindend gering ist. Allerdings steigt auch hier wie bei der CHIEF-Methode der Rechenaufwand an.

Zusammenfassung und Ausblick

Die Innenraummoden der Struktur beeinflussen sowohl die Berechnung der Schallabstrahlung sowie der -streuung. Es konnte gezeigt werden, dass sich mit Hilfe der CHIEF-Methode dieser Einfluss minimieren lässt. Allerdings konnte die Methode bis jetzt nur bei Abstrahlproblemen erfolgreich angewendet werden. Bei Streuproblemen ist dies leider noch nicht gelungen. Hier besteht noch Entwicklungsbedarf. Weiterhin konnte gezeigt werden, dass die räumliche Diskretisierung einen entscheidenden Einfluss auf die Fehlerfreiheit der Ergebnisse hat. Um die Nutzbarkeit der TD-BEM zu erhöhen, wäre es hilfreich einen Parameterbereich zu finden in dem die Ergebnisse auch ohne den Rechenaufwand der CHIEF-Methode ausreichend genau sind.

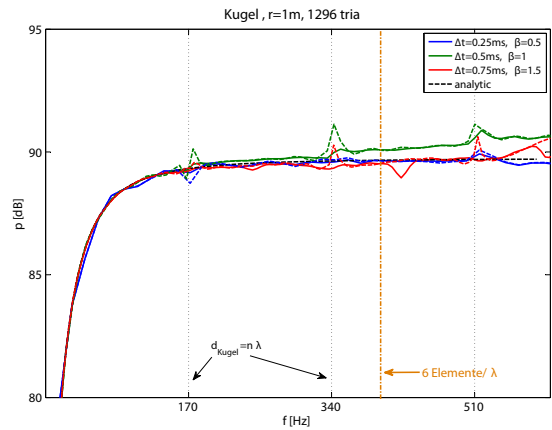


Abbildung 4: Der Einfluss der Innenraummoden auf die Schallabstrahlung einer atmenden Kugel kann mit der CHIEF Methode erfolgreich minimiert werden. (gestrichelte Linie: Simulation ohne CHIEF Methode)

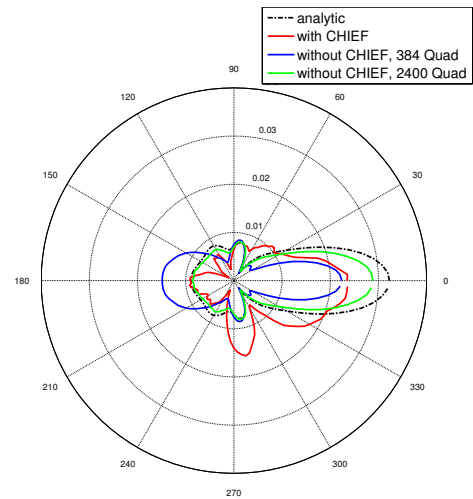


Abbildung 5: Beeinflussung der Richtcharakteristik des gestreuten Schallfeldes durch die Innenraummode der Kugel (schallhart) bei der Simulation mit/ohne CHIEF Methode und grober/feiner räumlicher Diskretisierung.

Literatur

- [1] M.Stütz, M.Ochmann, Stability behaviour and results of a transient boundary element method for exterior radiation problems, Acoustics'08-Paris, 2008
- [2] M.Stütz, M.Ochmann : Simulation of transient sound radiation using the Time Domain Boundary Element Method, NAG/DAGA Rotterdam, 2009
- [3] A. J. Burton, G. F. Miller: The Application of Integral Equation Methods to the Numerical Solution of Some Exterior Boundary-Value Problems, Proc. R. Soc. A, Vol. 323, No. 1553, Jun. 8, 1971, pp. 201-210
- [4] Harry A. Schenck: Improved Integral Formulation for Acoustic Radiation Problems, JASA , July 1968, Vol 44, Issue 1, pp. 41-58