

Verkürzung der DFEM-Rechenzeit für die Schalleistungsbestimmung dreidimensionaler Körperschallquellen durch Kreissegmentintegration

Max Kraus

Institut für Angewandte und Experimentelle Mechanik, Universität Stuttgart

Einleitung

Auf Grundlagen und Literaturhinweise zur DFEM wird im Tagungsbeitrag von Herrn André Gerlach eingegangen. Eine ausführliche Darstellung dazu ist in [1] zu finden. Die DFEM berechnet die von dreidimensionalen Körperschallquellen abgestrahlte Schalleistung in 2 Schritten. Im ersten Schritt wird die Rückwirkung der starren Umgebung auf die Schall abstrahlenden Monopole in Form eines Modifikationsfaktors berechnet. Im zweiten Schritt wird die eigentliche Schalleistungsberechnung durchgeführt, indem die Monopol-Einzelleistungen und die Wechselwirkungsleistungen aller Monopolpaare aufaddiert werden. Der erste DFEM-Berechnungsschritt dauerte bisher deutlich länger als der zweite Schritt aufgrund einer frequenz- bzw. abstandsabhängigen Subdiskretisierung der Elemente der starren Umgebung.

Prinzip der Kreissegmentintegration

Zur Verkürzung der Berechnungszeit wurde daher die Subdiskretisierung durch eine analytische Integration ersetzt. Die Besonderheit daran ist, dass nicht über die vorgegebenen Elementformen integriert wird, sondern dass als Integrationsgebiet eine Elementform gewählt wird, die an die radialsymmetrischen Abstrahleigenschaften der zu modifizierenden Monopole angepasst ist. Im vorliegenden Fall eignet sich als Elementform ein Kreisringteil-Segment (kurz: Kreissegment). Dadurch kann das auftretende Integral analytisch ausgewertet werden, so dass die Rückwirkung der starren Umgebung nun mit einer einfachen Stammfunktion berechnet werden kann.

Anwendung der Kreissegmentintegration

Als Anwendungsbeispiel für die Leistungsfähigkeit der Kreissegmentintegration (KSI) soll die Rückwirkung einer starren Kugel auf die Schalleistungsabstrahlung eines Monopols im Nordpol betrachtet werden. Abbildung 1 zeigt die gleichmäßige Diskretisierung der Kugel mit Kreissegmenten in 5 Schichten. Für die Berechnung des Modifikationsfaktors M , der das Vielfache der Vollraumschalleistung des Monopols A angibt, wurden 12 Schichten verwendet. Das Ergebnis ist in Abbildung 2 und 3 dargestellt. Während die Standard-DFEM ab etwa 8 Elementen pro Luftschallwellenlänge immer mehr von der exakten Lösung abweicht, kann die KSI bis zu sehr hohen Frequenzen verwendet werden. Dieses Ergebnis zeigt, dass eine starre Oberfläche in der DFEM-Rechnung nicht mehr frequenzabhängig diskretisiert sondern nur noch gut genug mit Kreissegmenten abgedeckt werden muss. Bei einer rechteckförmigen starren Platte kann bereits mit 4 Kreissegmenten eine gute Abdeckung erzielt werden (vgl. Abbildung 4). Eine solche Grobdiskretisierung lohnt sich bei einer ursprünglichen Rechteck-Diskretisierung von mehr als ca. 30 Elementen und ermöglicht bei der Berechnung des

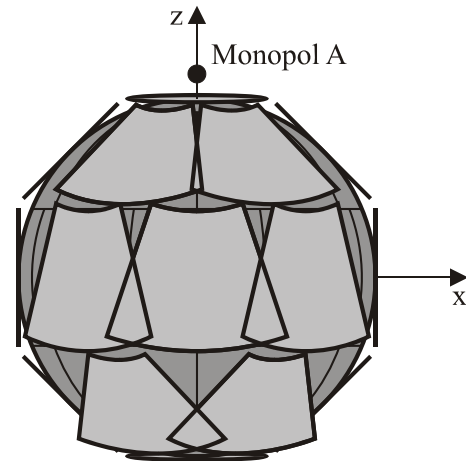


Abbildung 1: Gleichmäßige Diskretisierung einer starren Kugel mit Kreissegmenten (5 Schichten).

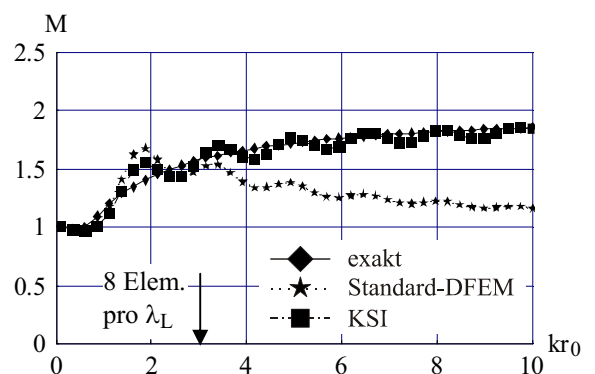


Abbildung 2: Schalleistungsmodifikation M eines Monopols im Nordpol einer starren Kugel. Diskretisierung der Kugel in 12 Schichten.

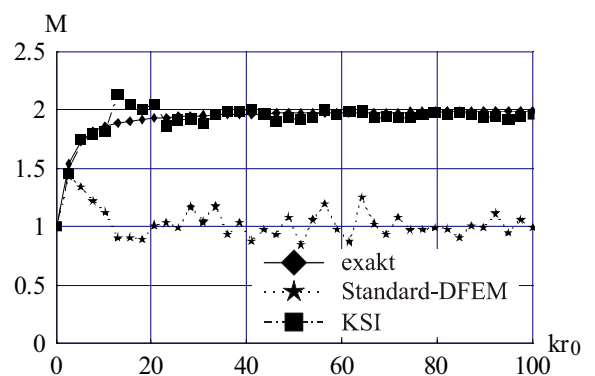


Abbildung 3: wie Abbildung 2, aber erweiterter Frequenzbereich.

Modifikationsfaktors M eine Genauigkeit von 1 dB bis zu einem Rechteck-Seitenverhältnis von 10:1.

Die Auswirkung der KSI auf die Rechenzeit der Gesamtschallleistungsberechnung ist in Abbildung 5 für einen Würfel dargestellt, dessen Diskretisierungsdichte mit der Frequenz erhöht wurde, so dass eine Diskretisierung von 9 Monopolen pro Luftschallwellenlänge vorhanden ist. Bei einer Verwendung der KSI (Kurve 2), die dasselbe Netz wie die Standard-DFEM (1) benutzt, wird die Rechenzeit deutlich reduziert. Bei einer Verwendung der KSI mit einer Grobdiskretisierung von 4 Kreissegmenten pro Würfelseite (3) kann nur noch eine geringe zusätzliche Minderung der Rechenzeit erreicht werden, da der zweite Schritt der DFEM-Berechnung nun sehr viel länger dauert als der erste Schritt. Bei der Anwendung eines Multigrad-Verfahrens für den zweiten DFEM-Berechnungsschritt könnte bei einer großen Anzahl von Elementen eine weitere Rechenzeiterparnis erzielt werden.

Die Berechnung der Schallleistung mit Randelementverfahren dauert deutlich länger. Die Standard-BEM (4) sind ca. 100mal langsamer als die DFEM mit KSI (2). Für große Elementanzahlen kann die Berechnungszeit und der Speicherplatzbedarf durch eine Verwendung der Fast Multipole BEM (5) [2] reduziert werden. Für Rechnungen mit 100.000 Elementen liegt der Speicherplatzbedarf aber immer noch in der Größenordnung von 1 GByte, während bei der DFEM zusätzlich zu den Geometrie- und Schwingungsdaten nur etwa 1 MByte benötigt wird.

Zusammenfassung

In diesem Beitrag wurde eine neue Methode zur Modellierung starrer Oberflächen vorgestellt, die bei der DFEM-Schallleistungsberechnung zu einer deutlichen Verkürzung der Rechenzeit bei mindestens gleicher Genauigkeit führt. Die Kreissegmentintegration (KSI) basiert darauf, dass die Elemente eines gegebenen Elementnetzes durch Kreisringteil-Segmente ersetzt werden. Durch die Anpassung der Elementform an die radialsymmetrischen Abstrahleigenschaften der in der DFEM verwendeten Monopole können die auftretenden Integrale analytisch ausgewertet werden, so dass die Berechnung mit einer einfachen Stammfunktion durchgeführt werden kann. Dadurch kann die DFEM-Berechnungszeit je nach Frequenzbereich um einen Faktor 10 bis 100 gesenkt werden. Die neue Standard-DFEM mit KSI ist jetzt etwa 100mal schneller als die Standard-BEM und benötigt kaum Speicherplatz. Die KSI erlaubt auch die Abdeckung sehr großer ebener Oberflächen mit sehr wenigen Kreissegmenten.

Literatur

- [1] Gerlach, A.: Ein Beitrag zur Entwicklung und Anwendung der DFEM zur Bestimmung der abgestrahlten Luftschallleistung dreidimensional ausgedehnter Körperschallquellen. Dissertation, Universität Stuttgart, 2000.
- [2] Fischer, M.: The Fast Multipole Boundary Element Method and its Application to Structure-Acoustic Field Interaction. PhD thesis, Universität Stuttgart, 2004.

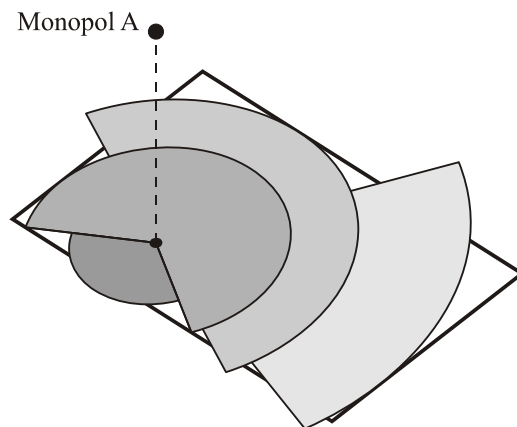


Abbildung 4: Grobdiskretisierung einer Rechteckplatte mit 4 Kreissegmenten.

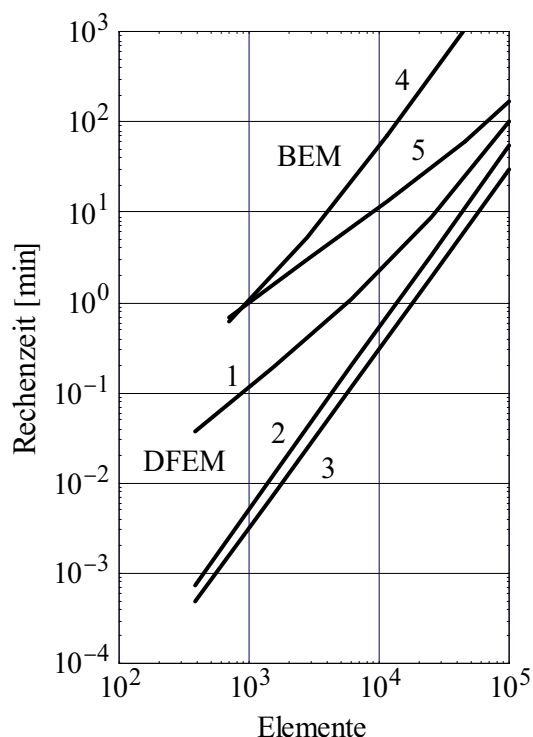


Abbildung 5: Vergleich von Rechenzeiten verschiedener Berechnungsverfahren zur Bestimmung der von schwingenden Oberflächen abgestrahlten Schallleistung.

- 1: Standard-DFEM
- 2: DFEM mit KSI*, Netz-Diskretisierung
- 3: DFEM mit KSI*, Grobdiskretisierung
- 4: Standard-BEM
- 5: Fast Multipole BEM*

* Entwicklung im Rahmen des Sonderforschungsbereichs 404 der DFG, Teilprojekt B5