

Dipl.-Ing. Dietmar Giljohann, Darmstadt

Finite-Elemente-Methoden für die Schallabstrahlung ins Freifeld

Reihe **11**: Schwingungstechnik Nr. **232**

Inhaltsverzeichnis

Formelzeichen und Symbole	VI
1 Einleitung	1
2 Stand der Forschung	2
3 Die Finite-Elemente-Formulierung der Helmholtzgleichung	4
3.1 Die Helmholtzgleichung	4
3.2 Die schwache Form der Helmholtzgleichung	6
3.3 Finite-Elemente-Formulierung	7
3.4 Numerische Integration	9
4 FE-Methoden für Freifeldbedingungen	11
4.1 Unendliche Elemente	11
4.1.1 Formfunktionen der unendlichen Elemente	12
4.1.2 Integrationsverfahren für unendliche Gebiete	14
4.2 Nichtreflektierende Randbedingungen (NRRB)	15
4.2.1 Lokale NRRB	16
4.2.2 Nichtlokale NRRB	17
5 Die DtN-FEM für die Helmholtzgleichung	20
5.1 Die Greensche Funktion	20
5.1.1 Starke Form der DtN-Randbedingung aus Greenscher Funktion	20
5.2 Starke Form der DtN-Randbedingung aus Reihenentwicklungen	21
5.3 Schwache Form und Steifigkeitselemente der 3D-DtN-Randbedingung	25
5.4 Berechnung der Teilintegrale der DtN-Randbedingung	27
5.5 DtN-Randbedingung für symmetrische Probleme	27
5.5.1 Zyklische Symmetrie	27
5.5.2 Spiegelsymmetrie	29
5.6 DtN-Randbedingung für Innenraumprobleme	29
6 Überprüfung von FEM an Strahlern einfacher Geometrie	31
6.1 Diskretisierung der Strahleroberflächen und des Außenraumes	31
6.2 Kugelstrahler nullter Ordnung	32
6.2.1 Fehleranalyse	35
6.2.2 Abstrahlgrad	38
6.3 Kugelstrahler erster Ordnung	40
6.3.1 Abstrahlgrad	40
6.3.2 Schallintensitätsverteilungen	41
6.4 Zylinderstrahler	42
6.4.1 Zylinder mit einseitig schwingender Stirnfläche	44
6.4.2 Zylinder mit gegenphasig schwingenden Stirnflächen	46
6.4.3 Zylinder mit gleichphasig schwingenden Stirnflächen	46
6.5 Einsatzgrenzen von FEM für Außenraumprobleme	47
6.6 Einfluß der Lage des Außenrandes auf FEM-Lösungen	48

7	Numerik der DtN-FEM	54
7.1	Einfluß der Nichtlokalität auf die Bandstruktur der FE-Matrix	54
7.2	Einbindung der DtN-Randbedingung in Profiloptimierer	54
7.3	Rechenaufwand und Speicherplatzbedarf	56
8	Vergleich von FE-Rechnungen mit Messungen	59
8.1	Experimenteller Aufbau und Meßmethoden	60
8.2	Diskretisierung der Meßflächen und der FE-Modelle	60
8.3	Vergleich der Ergebnisse	62
8.3.1	Schalleistung	62
8.3.2	Abstrahlgrad	64
8.3.3	Schallintensität	65
9	Zusammenfassung	69
	Anhang	71
	Kugelflächenfunktionen	71
	Hankelfunktionen	71
	Numerische Berechnung des Abstrahlgrades	72
	Literaturverzeichnis	74