

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	4
1.1	Stand der Forschung	4
1.2	Ziele dieser Arbeit	5
2	Theoretische Grundlagen	7
2.1	Theorie der linearen Akustik	7
2.1.1	Herleitung der Wellengleichung	8
2.1.2	Rand- und Anfangsbedingungen	11
2.2	Herleitung der Kirchhoffschen Integralgleichung	12
2.2.1	Fundamentallösung	12
2.2.2	Randintegralgleichung und Darstellungsformel	13
2.2.3	Symmetrie im Halbraum	17
3	Randelementformulierungen und numerische Realisierung	20
3.1	Diskretisierung der Geometrie und Ansatzfunktionen	21
3.1.1	Räumliche Diskretisierung	22
3.1.2	Zeitliche Diskretisierung	22
3.2	Punkt-Kollokation	25
3.3	Galerkin-Verfahren	29
3.4	Approximation des Integrationsgebiets	31
3.5	Analytische Integration und Quadratur (Kollokation)	32
3.6	Analytische Integration und Quadratur (Galerkin)	44
3.7	Stabilitätsuntersuchungen	53
3.7.1	Formulierung der Integralgleichung nach Figueiredo/Morino	55
3.7.2	Modifikationen dieser Formulierung	58
4	Vergleich der Ergebnisse aus Kollokation und Galerkin-REM	64
4.1	Theoretisch beweisbare Konvergenzordnungen	64
4.2	Numerisch erreichbare Konvergenzordnungen und numerischer Aufwand (2D-Beispiel)	66
4.3	Numerisch erreichbare Konvergenzordnungen und numerischer Aufwand (3D-Beispiel)	72
5	Adaptive Methoden	77
5.1	Fehlerschätzer und Fehlerindikatoren für die Randelementmethode	80
5.1.1	Fehlerschätzer Residuum	80
5.1.2	Weitere Fehlerindikatoren	82

5.1.3	Fehlerindikator auf der Basis einer Winkelbedingung für stückweise lineare Approximationen	84
5.2	Netzverfeinerung und Netzvergrößerung	88
5.2.1	Verfeinerungsstrategien	88
5.2.2	Vergrößerungsstrategien	91
5.2.3	Algorithmen zur Netzverfeinerung und -vergrößerung	92
5.3	Numerische Realisierung mit hierarchischen Basen	96
5.4	Beispiel einer adaptiven Netzverfeinerung	99
5.4.1	Fehlerindikator „Winkel“	100
5.4.2	Fehlerschätzer „Residuum“	105
5.4.3	Vergleich bezüglich des numerischen Aufwands	107
5.5	Bewegte Quellen und mitbewegte Netze	108
6	Beispiele	115
6.1	Beispiel mit mehreren fahrenden Autos und Schallschutzmauer	115
6.2	Beispiel mit einem Hochgeschwindigkeitszug	121
7	Zusammenfassung und Ausblick	124
A	Berechnung der singulären Randintegrale	126
B	Sobolevräume	129
B.1	Definition der Sobolevräume mit positivem Index und Beispiele . . .	129
B.2	Einige Eigenschaften der Sobolevräume	134
B.3	Sobolevräume mit negativem Index	136