

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
1.1. Der Modellbegriff	2
1.2. Numerische Berechnungsverfahren in der Akustik	8
1.3. Motivation und Ziel der Arbeit	11
1.4. Aufbau der Arbeit	16
1.5. Beitrag der Dissertation zum Stand der Forschung	17
2. Stand der Technik	19
2.1. Die Finite-Elemente-Methode	19
2.1.1. Grundlagen der Finite-Elemente Methode	20
2.1.2. Randbedingungen einer FEM-Berechnung	24
2.1.3. Transformation in den Frequenzbereich	24
2.1.4. Anwendungsbereiche der FEM in der Akustik	25
2.2. Beschleunigung von FEM-Berechnungen	33
2.2.1. Algorithmen zur Lösung des FEM-Gleichungssystems	34
2.2.2. Parallelisierung der Berechnung	35
2.2.3. Verfahren der Modellreduktion	35
2.2.4. Adaptive Anpassung der Diskretisierung	37
2.2.5. Multi-Level- und Multi-Fidelity-Verfahren	39
2.3. Stochastische Berechnungsverfahren	41
2.3.1. Verfahren der Unsicherheitsquantifizierung	42
2.3.2. Verfahren der Sensitivitätsanalyse	45
3. Entwicklung des Multi-Modell-Verfahrens	51
3.1. Die Idee des Verfahrens	51
3.2. Anforderungen an das Verfahren	54
3.3. Anforderungen an die Modelle	56
3.4. Stetigkeit des berechneten Frequenzgangs	57
3.5. Die Konstruktion der Modell-Management-Strategie	57
3.5.1. Das Konzept der Frequenzgruppen	58
3.5.2. Die Validierung an den Testpunkten	60
3.5.3. Modell-Management-Strategie und Budgetplanung	65
3.5.4. Verfahren zur Verkürzung des Validierungsprozesses	75
3.5.5. Algorithmische Umsetzung der Modell-Management-Strategie	79
3.6. Nutzung des Multi-Modell-Verfahrens zur Unsicherheitsquantifizierung	83

4. Verifikation des Multi-Modell-Verfahrens für einzelne Berechnungen	85
4.1. Variation des numerischen Modells	88
4.1.1. Variation der Diskretisierung	89
4.1.2. Nutzung analytischer Lösungen	99
4.2. Variation des mathematischen Modells	104
4.2.1. Variation der Elementformulierung	104
4.2.2. Variation des Materialmodells	111
4.3. Variation des Realitätsmodells	118
4.4. Untersuchungen zu den Eigenschaften des Verfahrens	124
4.4.1. Einfluss der Anzahl vereinfachter Modelle	126
4.4.2. Einfluss der wahrscheinlichkeitsbasierten Abbruchentscheidung	128
4.4.3. Einfluss des gewählten Validierungskriteriums	130
4.4.4. Einfluss des zulässigen Fehlers an den Testpunkten	134
4.5. Fazit der Verifikationsuntersuchungen	135
5. Anwendung des Multi-Modell-Verfahrens zur Unsicherheitsquantifizierung	141
5.1. Modellbeschreibung	142
5.1.1. Geometriemodell und verwendete Diskretisierung	143
5.1.2. Modellparameter	144
5.2. Unsicherheitsquantifizierung mit der Monte Carlo-Methode	147
5.3. Varianzbasierte globale Sensitivitätsanalyse	150
5.4. Fazit der Anwendung zur Unsicherheitsquantifizierung	155
6. Zusammenfassung	159
7. Ausblick	165
Literaturverzeichnis	169
Abbildungsverzeichnis	179
Tabellenverzeichnis	181
A. Inverse Materialparameterbestimmung poröser Materialien	183
A.1. Messungen im Impedanz- und Transmissionsrohr	183
A.2. Bestimmung der Materialparameter für das äquivalente Fluid	184
A.3. Bestimmung der Materialparameter des Biot-Modells	185
B. Erweiterung der elPaSo-Eingabedatei	189
B.1. Beispiel der Erweiterung	189
B.2. Parameter zur Einstellung des Multi-Modell-Verfahrens	190
B.3. Attribut-Werte der XML-Struktur	191
C. Verifikationsrechnungen ohne Parallelisierung	193
D. Sensitivitätskoeffizienten erster Ordnung	201