

Eine Vergleichsstudie zur Erweiterung der akustischen Planung allgemeiner Innenraumprobleme mittels hybrider Simulation

Guido Bartsch*,

Institut für Technische Akustik, RWTH Aachen, D-52056 Aachen

1 Einleitung

Vergleicht man Ergebnisse raumakustischer Computersimulationen untereinander und mit Meßergebnissen, so beobachtet man teilweise gravierende Abweichungen voneinander [2]. Systematische Abweichungen und Tendenzen in den Ergebnissen der Computersimulationen sind allen Programmen gemeinsam und lassen sich eindeutig auf eine unzureichende Modellbildung zurückführen. Keines der heute verfügbaren Programme erlaubt eine breitbandige Simulation unter Berücksichtigung des niederfrequenten Bereichs. Zu klären ist also die Frage, welchen Einfluß Welleneffekte auf die Raumimpulsantworten haben.

2 Modell 'Schirmwand'

Zunächst wurden Simulationen auf Basis der FE-Methode durchgeführt und im Anschluß mit Messungen an 10 : 1 skalierten Modellobjekten verifiziert.

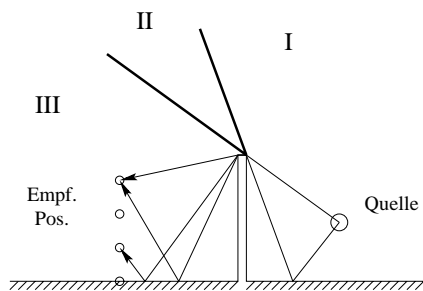


Abbildung 1: Schirmwandmodell

Untersucht wurden bei verschiedenen Ecken-, Kanten- und Schirmwandproblemen jeweils 64 Sender-/Empfängerkonstellationen im Frequenzbereich von 20 bis 200 Hz. Exemplarisch soll das in Abb. 1 dargestellte Modell einer Schirmwand auf schallhartem Boden herangezogen werden. Bei der gewählten Konstellation besteht zwischen Quelle und den Empfängerpositionen, getrennt durch die im Modell 0,7 m hohe schallharte Wand, keine Sichtverbindung. Die verbleibenden Wandabschlüsse sind angepaßt.

*EMail: Guido.Bartsch@akustik.rwth-aachen.de
<http://www.akustik.rwth-aachen.de/~bartsch>

2.1 Ergebnisse 'Schirmwand'

Die in Abb. 2 und 3 dargestellten Impulsantworten (IA) veranschaulichen die Reihenfolge des Eintreffens und den Amplitudenverlauf der Wellenfronten an der Empfängerposition. Sender und Empfänger sind hier jeweils 0,5 m von der Schirmwand entfernt und befinden sich auf halber Schirmwandhöhe einander gegenüber. Die in der FE-Simulation rechen-technisch bedingte Bandpaßbegrenzung wurde auf die Messung übertragen.

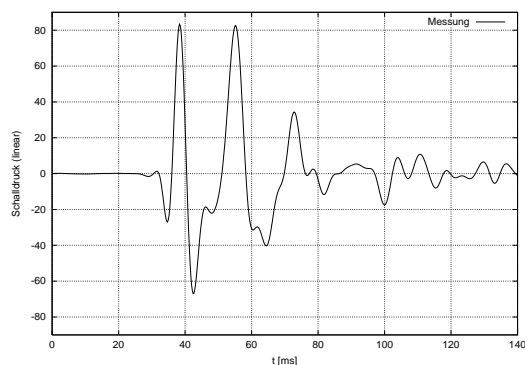


Abbildung 2: IA aus Messung

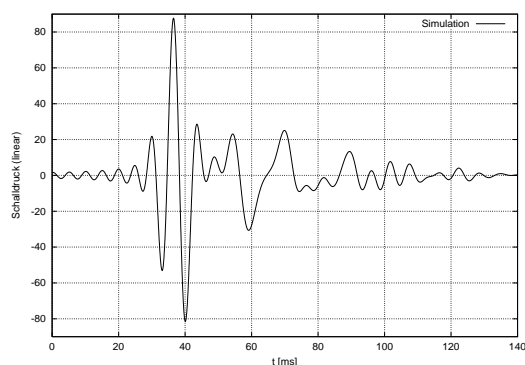


Abbildung 3: IA aus FE-Simulation

Die erste Beugungswelle erreicht ohne zusätzliche Bodenreflexionen den Empfänger. Alle weiteren Wellenfronten gelangen über ein bzw. zwei Bodenreflexionen zum Empfänger. Schallanteile, die in die Bereiche 'I' oder 'II' abgestrahlt werden, gelangen nicht mehr zum Empfänger.

3 Modell 'Orchestergraben'

Als weiteres Untersuchungsobjekt diente das in Abb. 4 dargestellte Modell eines Theaters mit Orchestergraben. Die Länge des Saales beträgt 28 m, dessen Höhe 5 m und dessen Breite 15 m. Der Graben ist 3 m lang und 1,5 m tief. Der Rückwand über dem Graben wurde ein Absorptionsgrad $\alpha = 1$ gegeben, um das sonst angrenzende Bühnenhaus zu berücksichtigen. Für die Bodenfläche im Publikumsraum wurde $\alpha = 50\%$ und für die restlichen Wände $\alpha = 15\%$ veranschlagt.

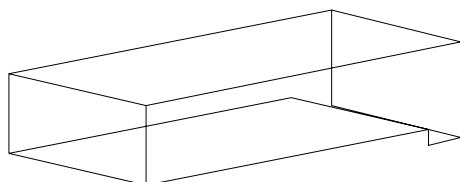


Abbildung 4: Modell eines Orchestergrabens

Von Interesse ist hier insbesondere die Fragestellung nach dem raumakustischen Einfluß der Orchestergrabenkante. Zu diesem Zweck wurde eine Quelle inmitten des Orchestergrabens positioniert.

3.1 Ergebnisse 'Orchestergraben'

In Abb. 5 ist qualitativ die Schalldruckpegelverteilung im Saal in Höhe des Publikums dargestellt (Orchestergraben schließt vorne rechts an). Es ist offensichtlich, daß das Schallfeld für Frequenzen bis wenigstens 100 Hz von Moden dominiert wird. Die notwendige Voraussetzung für die Anwendbarkeit der geometrischen Simulation (hinreichende Modendichte) ist nicht erfüllt. Ein Vergleich der aus dem bandpaßbegrenzten Spektrum gewonnenen Impulsantwort einer FE-Simulation mit dem Analogon aus der geometrischen Simulation ist daher nicht sinnvoll.

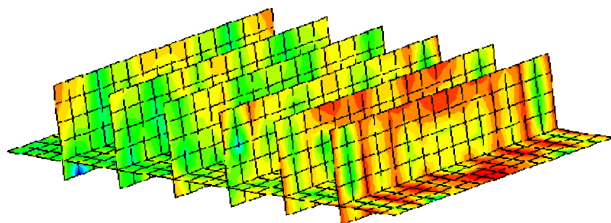


Abbildung 5: Schalldruckverteilung, $f = 100$ Hz

Beschränkt man sich jedoch auf die Spektren der FE-Simulation, so können durchaus aussagekräftige Impulsantworten bestimmt werden. Abb. 6 stellt die Impulsantwort an einer in der Mitte des Saales liegenden Empfängerposition dar.

Das Eintreffen der Beugungswelle von der Orchestergrabenkante und die später eintreffende geometrische Reflexion sind erkennbar.

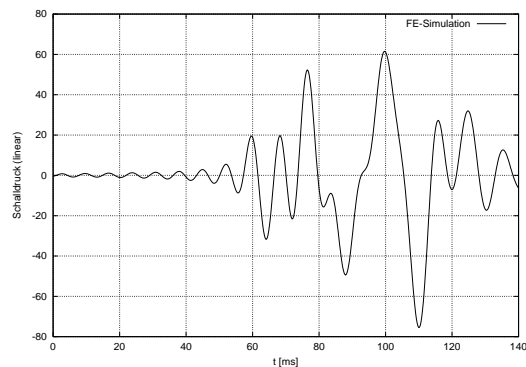


Abbildung 6: IA aus FE-Simulation

4 Zusammenfassung

Die Beispiele zeigen, daß eine rein geometrisch motivierte Betrachtungsweise bei der raumakustischen Simulation nicht allgemein zulässig ist. Mit steigender Absorption werden Welleneffekte gegenüber Reflexionen signifikanter, insbesondere wenn Sender und Empfänger keinen Sichtkontakt haben [3]. Bei der Auralisation des Raumes fehlt nach einer rein geometrischen Simulation die Beugungswelle und damit ein entscheidender Teil der realen Schallausbreitung. Zwar findet bei derartigen tiefen Frequenzen keine Quellenortung mehr statt, das Gehör ist aber durchaus in der Lage, zwischen derartigen Laufzeitunterschieden zu differenzieren.

Eine akustisch korrekte Simulation verlangt eine breitbandige Simulation unter Berücksichtigung des niederfrequenten Bereichs und damit die Miteinbeziehung von Welleneffekten. Mit dem offenen FE-Simulationspaket WaveSolve^{3D} steht inzwischen ein leistungsfähiges Werkzeug zur Simulation niederfrequenter Schallanteile zur Verfügung [1]. Als nächster Schritt muß eine kombinierte Simulation bestehend aus Teilchen- und wellentheoretisch basierten Modulen erfolgen. Dies war bislang in Ermangelung geeigneter FE-Simulationspakete nicht möglich. Durch die hybride Simulationstechnik wird eine breitbandige und effektive Simulation möglich.

Literatur

- [1] BARTSCH, G.: *Solving large scale problems on standard PC's*. In: *Proc. of the 4th Int. Congr. on Theoretical and Computational Acoustics, ICTCA*, Trieste, Italy, 1999.
- [2] BORG, I.: *On the quality of room simulation software – The 2nd Round Robin on Room Acoustical Computer Simulation*. To be published in *ACUSTICA/acta acoustica* 86(2000).
- [3] GOERTZ, S.: *Untersuchung von wellen- und strahlenbasierten Simulationsansätzen an einfachen raumakustischen Modellen*. Diplomarbeit, Institut für Technische Akustik, RWTH Aachen, Deutschland, 2000.