

16 (1989) Neue Forschungsergebnisse, kurz gefaßt

Fraunhofer-Institut für Bauphysik

U. Stephenson

Verbesserungen bei der computergestützten Schallfeldsimulation für Konzertsaal und Lärmimmissionsprognose

Einführung

Die Entwicklung computergestützter Rechenmethoden zur Lärmimmissionsprognose im Freien - z.B. in Wohngebieten - und in geschlossenen Räumen - z.B. Fabrikhallen - ist eine der Aufgaben des IBP. Dieses Problemfeld hat mit der Vorausberechnung der „Akustik“ von Konzertsälen eine wesentliche Grundlage gemeinsam: Das Strahlenmodell der geometrischen Raumakustik. Nur die Zielgrößen sind verschieden: Während beim Lärm in erster Näherung nur der örtliche Schallpegel interessiert, sind es beim Konzertsaal noch einige „psychoakustische“ Parameter wie die „Deutlichkeit“ und das „Seitenschallmaß“ [1], die Sprachverständlichkeit und Räumlichkeitsempfinden beschreiben. Diese sind berechenbar durch Auswertung von Echogrammen, also des Zeitverlaufs des (nach Impulsanregung des Raumes) immittierten Schalls.

Bisher werden solche Schallfeldberechnungen in Spezialfällen mit einfachen Formeln (Schallschutz-Richtlinien) berechnet oder - bei Konzertsälen - mithilfe der sehr kostspieligen Ultraschall-Modellmeßtechnik gelöst. Dank der stark steigenden Rechenleistungen verfügbarer Kleincomputer werden nun auch bisher zu rechenintensive numerische Simulationsmethoden interessant. Die Spiegelschallquellen-Methode - die „klassische“, in einfachen Fällen auch „von Hand“ anwendbare Methode - wird verallgemeinbar [8]. Wie gezeigt werden kann [9], ist aber die Schallteilchen-Methode effizienter und schneller.

Hierbei wird die Ausbreitung von Schallwellen simuliert durch eine Vielzahl sich geradlinig mit Schallgeschwindigkeit bewegender „Teilchen“ als Schallenergieträger, die von einer Schallquelle möglichst gleichmässig in alle Raumrichtungen ausgesandt werden [4]. Ihre Pfade im Raum werden über mehrere Reflexionen verfolgt (Bild 1).

Die Bestimmung der Auftreffpunkte auf den Wänden macht die Hauptrechenaufgabe aus. Reflexions- und Absorptionsgesetze können relativ einfach simuliert werden. In bestimmten „Detektoren“, Volumina welche die Zuhörerfunktion ausüben (Bild 2), werden die Teilchen registriert, ihre Energien aufsummiert und daraus die gewünschten Schallfeldgrößen berechnet.

Wie bei jeder numerischen Methode muß die Simulation nach einer bestimmten Näherungsstufe, hier nach einer bestimmten Anzahl Reflexionen pro Teilchen abgebrochen werden - je später, desto

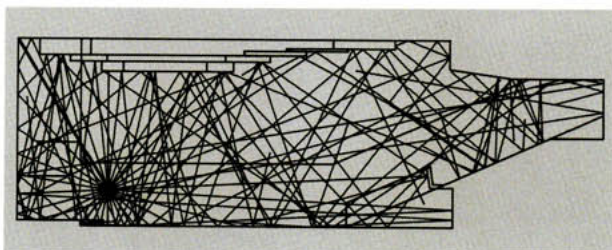


Bild 1: Verfolgung von Schallteilchen gezeigt im Längsschnitt eines Raumes mit Deckenstruktur und im hinteren Teil ansteigender Publikumsebene (wie perspektivisch gezeigt in Bild 4)

geringer ist die danach noch zu erwartende „Rest-Nachhall“-Energie, desto geringer also auch der Rechenfehler, desto höher aber auch - da reziprok zum Fehlerquadrat - die Rechenzeit. Dazu wurden Rechenzeit-Prognose-Formeln [9] abgeleitet, deren Anwendung dem Programm benutzer das Finden eines geeigneten Kompromisses erlaubt.

Verbesserungen der Schallteilchenmethode

Vor wenigen Jahren noch (1982,[4]) betrug die Rechenzeit von Schallteilchen-Simulationsprogrammen zu Berechnung von Konzertsälen gehobener Kompliziertheit auf einem Kleinrechner bis zu 100 Stunden. Durch die gestiegene Rechengeschwindigkeit

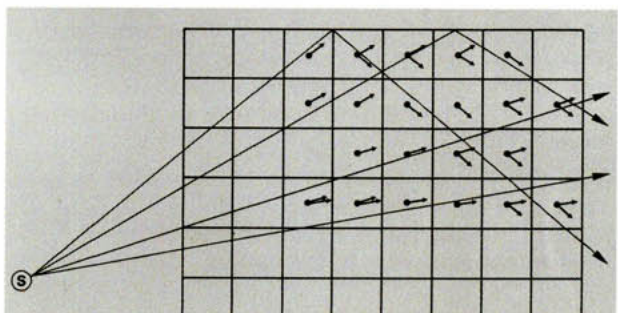


Bild 2: Teilchenregistrierung in Detektorschicht (= Publikumsebene, vergleiche Bild 4), die Pfeile markieren die hier registrierten Schallteilchenimmissionen

heutiger Computer sank diese Zeit bereits auf 10 Stunden. In einem von Grund auf neu entwickelten Programm konnte durch folgende Verbesserungen [10] die Rechenzeit weiter um den Faktor 6 reduziert werden:

- eine erhebliche Verschnellerung des bisher rechenzeitintensiven „Punkt-in-Wand-Tests“, (Test, ob Treffer auf Wand-Ebene auch Treffer innerhalb Wand-Begrenzung)
- eine Vorprüfung „erlaubter“ und „verbotener“ Wandkombinationen [2],
- die Unterscheidung „versperrender“ und nicht-versperrender Wände [11],
- eine Gruppierung zusammenhängender Wände (Bildung von Substrukturen) und
- die Benutzung dichtgepackter Quader statt Kugeln als Teilchen-Detektoren (Bild 2) [4].

Eine Compilierung der (besonders präparierten) Programme bringt noch einmal den Faktor 3. So konnte die Rechenzeit insgesamt drastisch, nämlich um den Faktor 200 (!) reduziert werden. (Bild 3). In vielen praktischen Fällen (Mehrzweckräume mittlerer Komplexität) liegen damit die **Rechenzeiten nun bei unter einer Stunde**. Damit ist eine entscheidende Hürde zum Einstieg in effiziente raumakustische Optimierung mithilfe numerischer Rechenmethoden genommen.

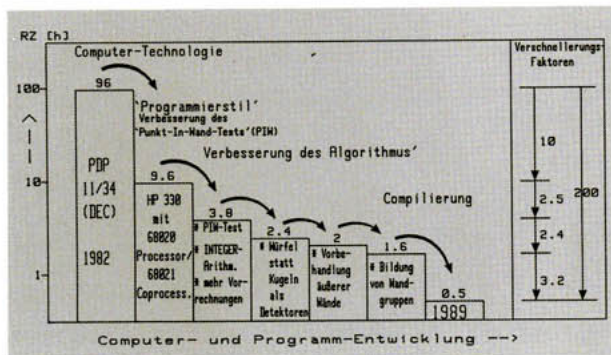


Bild 3: Entwicklung der Rechenzeiten (RZ): Gesamtreduktion um den Faktor 200. (Raum nach Bild 1 mit 60 Wänden und 100 Zuhörerplätzen bei 0,5 dB Pegelgenauigkeit)

Schallfeldberechnungen für Fabrikhallen

Fabrikhallen zeichnen sich - im Gegensatz zu Konzerträumen - meist durch zahlreiche „Streukörper“ wie Maschinen und andere Installationen aus. Eine explizite Streurechnung hierzu ist praktisch unmöglich - und bei den erzielbaren Genauigkeiten auch meist unnötig. Hier bot sich die Ergänzung des Schallteilchenverfahrens um eine statistische Simulation der Streuung an, wie bereits für die Städtebauakustik vorgeschlagen [3]. Die Teilchen werden dabei nach einer statistisch schwankenden Laufstrecke - die im Mittel jedoch einer eingegebenen Streukörperdichte entspricht - angehalten und - nach Berücksichtigung auch einer Streukörperabsorption - in zufällig bestimmte neue Streurichtungen umgelenkt. Größere Hallen mit ungleichmäßiger Aufstellungsdichte von Maschinen können in der neuen Programmvariante in mehrere Teilräume mit unterschiedlichen Streudaten aufgeteilt werden.

Anwendungen

Mit dem so entwickelten Programm lassen sich bereits in der Planungsphase die Auswirkungen von Änderungen an Gebäuden, Wänden und Ausstattungen auf das Schallfeld bestimmen. Die flächige Verteilung beliebiger Schallfeldparameter an den interessie-

renden Immissionspunkten oder auf den Publikumsebenen werden farblich abgestuft dargestellt. Die Wirkung raumakustischer Massnahmen wird so auch dem Nicht-Akustiker, z.B. dem Bauherrn, unmittelbar anschaulich (Bild 4).

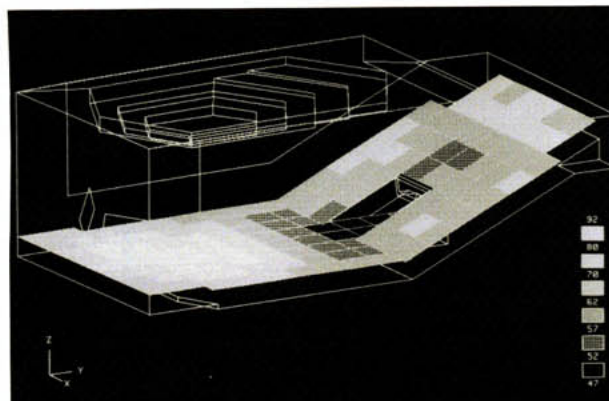


Bild 4: Berechnete Deutlichkeitsverteilung im Bürgersaal Karlsruhe (Entwurf), Grauwert-Legende für Schwarz-Weiss-Fassung rechts

Das neue Programm wurde in enger Zusammenarbeit mit einem Architekten bei der raumakustischen Optimierung eines Entwurfs zur Renovierung des Bürgersaales im Rathaus Karlsruhe bereits mit Erfolg angewandt. Akustisch interessantestes Detail: Schwebende Reflektoren über der Bühne erhöhten, wie vorgesehen und wie dann auch die Schallteilchensimulation zeigte, die Deutlichkeitswerte und damit die Sprachverständlichkeit auf den hinteren Publikumsreihen.

Weitere Anwendungen siehe [5-8].

Literatur

- [1] Kuhl, W.: Räumlichkeit als Komponente des Raumeindrucks; ACUSTICA 40 (1978), 167
- [2] Lee, H., Lee, B.H.: An Efficient Algorithm for the Image Source Model Technique; Appl.Acoust. 24 (1988), 87
- [3] Leschnik, W.: Zur Schallausbreitung in bebauten und bepflanzen Gebieten; ACUSTICA 44 (1980), 14
- [4] Stephenson, U: Eine Schallteilchen-Computer-Simulation zur Berechnung der für die Hörsamkeit in Konzertsälen maßgebender Parameter; ACUSTICA 59 (1985), 1
- [5] Stephenson, U; Mechel, F.P.: Wie werden die Schallteilchen gebeugt? In: Fortschritte der Akustik - DAGA 86, DPG-GmbH, Bad Honnef (1986), 605
- [6] Stephenson, U; Mechel, F.P.: The Sound Particle Simulation Technique Applied to Problems of Sound Propagation from Power Plants; In: Proc. of International Electric Power Industry Noise Abatement Engineering Workshop; BBN Lab. Inc. Cambridge, Mass. USA
- [7] Stephenson, U: STRASCHIRM- ein Computerprogramm zur Berechnung von Immissionspegeln insbesondere von Straßenlärm unter besonderer Berücksichtigung der Abschirmwirkung; IBP-Bericht BS 169/87
- [8] Stephenson, U: Lärmimmissionsprognose mittels Schallfeld-Computer-Simulation; IBP-Bericht BS 198/88
- [9] Stephenson, U: Vergleich der Spiegelschallquellen-Methode mit der Schallteilchensimulations-Methode; IBP-Bericht BS 201/88
- [10] Stephenson, U: The Sound Particle Simulation Technique- An Efficient Prediction Method for Room Acoustical Parameters of Concert Halls ; 86th AES Convention; Hamburg 1989
- [11] Vorländer, M: Ein Strahlverfolgungsverfahren zur Berechnung von Schallfeldern in Räumen; ACUSTICA 65 (1988), 138



FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR BAUPHYSIK
 Leiter: o.Prof. Dr. Dr. h.c. Karl Gertis
 7000 Stuttgart 80, Nobelstraße 12, Tel.(0711)970-00
 8150 Holzkirchen (OBB), Postf. 1180, Tel. (08024)643-0

Herstellung und Druck:
 SDSC, Informationszentrum RAUM und BAU
 der Fraunhofer-Gesellschaft, Stuttgart
 Nachdruck nur mit schriftlicher Genehmigung des
 Fraunhofer-Instituts für Bauphysik