

## Neue Tools für die raumakustische Simulation

Wolfgang Ahnert<sup>1</sup>, Tobias Behrens<sup>2</sup>, Stefan Feistel<sup>1</sup>

<sup>1</sup> AFMG (Ahnert Feistel Media Group), E-Mail: info@ada-amc.eu

<sup>2</sup> ADA Acoustics & Media Consultants GmbH

### Einleitung

Zur raumakustischen Simulation ist eine Datengrundlage für Absorption- und Streuverhalten verschiedenster Konstruktionen, geometrische Strukturen und Materialien erforderlich. Dabei ist der Absorptionsgrad oft aus Prüfzeugnissen oder der Standard-Literatur zu beschaffen, beim Streugrad (Scattering nach ISO 17497-1) ist dies dagegen weniger der Fall. Dazu sind Tools in Entwicklung, die hinsichtlich Funktion und Wirkungsweise die frequenzabhängige Berechnung von Absorptionsgrad und Streugrad für die geometrische Akustik aber auch von komplexen Reflexionsfaktoren bzw. Eingangs-Impedanzen für die Wellenakustik nebst Schalldämm-Maßen gestattet (AFMG „Sound Flow“ und „Reflex“). Darauf und auf ein weiteres Tool wird eingegangen, dass zur Modensimulation kleiner Räume bzw. bei tiefen Frequenzen die komplexe Übertragungsfunktion berechnet (AFMG „Studio-Simulator“).

### Datengrundlage zur Simulation

Zur Ermittlung einer breitbandigen Impulsantwort zur Simulation von u.a. Studios wird zunächst ein Raummodell benötigt. Hierin müssen sowohl Abstrahl-Charakteristika der Lautsprecher als auch deren Positionen im Raum bekannt sein. Dann sind Material-Daten sämtlicher den Raum begrenzenden Oberflächen erforderlich. Für den Frequenzbereich der geometrischen Akustik sind dies Absorptions- und Streugrade, für die Wellen-Akustik komplexe Eingangs-Impedanzen.

### Die Schroeder-Frequenz

In einem begrenzten Raumvolumen gibt es charakteristische Eigenschwingungen, wobei die Modendichte mit dem Quadrat der Frequenz steigt. Ab der „Schroeder-Frequenz“ kann von einem diffusen Schallfeld ausgegangen werden. Die Schroeder-Frequenz markiert den Übergang von der Wellen- zur geometrischen Akustik und kann abgeschätzt werden mit nachfolgender zugeschnittener Größengleichung:

$$f_s = 2000 \sqrt{\frac{T/s}{V/m^3}}$$

### AFMG „Sound Flow“

Neben der Messung von Absorptionsgraden (Hallraumverfahren, Kundt'sches Rohr, In-Situ-Verfahren) und komplexen Eingangs-Impedanzen (Kundt'sches Rohr) ist eine Berechnung wünschenswert, wozu AFMG „Sound Flow“ einsetzbar ist. Dabei sind Schichtfolgen in beliebige Anzahl und Materialität sowie verschiedene Absorber-Theorien

wählbar. Ergebnisse verschiedener Aufbauten können vergleichend gegenüber gestellt werden.

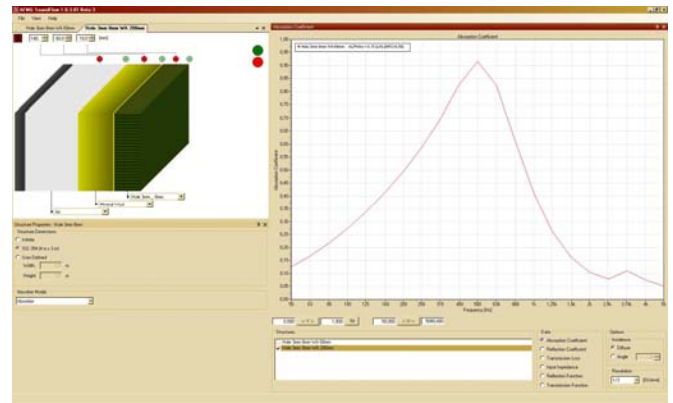


Abbildung 1: Berechnung von Absorptionsgraden mit AFMG „Sound Flow“

In der Wellenakustik benötigt man zusätzlich zur Absorption auch Phaseninformationen. Zur Modellierung mehrschichtiger Wände lassen sich Absorptions- und Transmissionsgrad sowie komplexe Eingangsimpedanz berechnen.

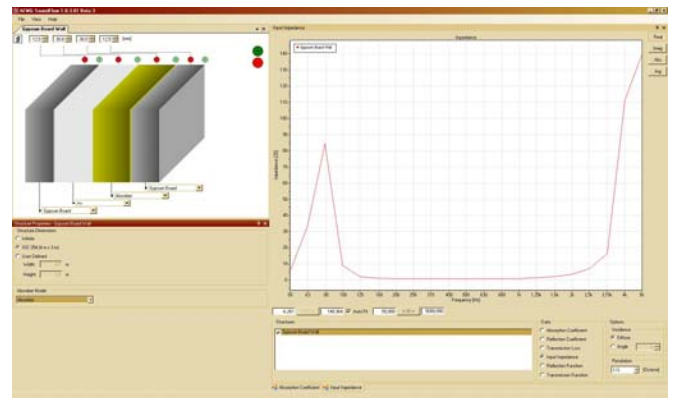


Abbildung 2: Berechnung von komplexen Eingangs-Impedanzen mit AFMG „Sound Flow“

### „AFMG Reflex“

In der geometrischen Akustik müssen neben der Absorption auch die Streueigenschaften der Oberflächen berücksichtigt werden. Diese Streuung an Oberflächen kann über den Streugrad charakterisiert werden, der anhand von Strukturgrößen grob abgeschätzt, gemessen (ISO 17497-1) oder mit Hilfe der Boundary Element Methode (BEM) mittels „AFMG Reflex“ nebst Diffusionskoeffizient und räumlicher Verteilung der Reflexion berechnet werden kann. Zur Zeit ist nur eine zweidimensionale Berechnung möglich, deren Ergebnisse aber durchaus zielführend sind.

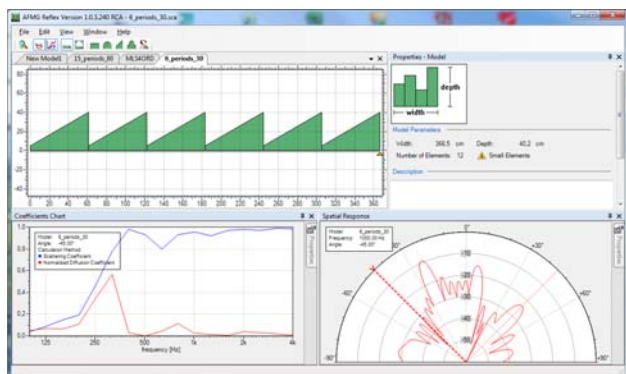


Abbildung 3: Berechnung der Streueigenschaften einer einfachen Struktur mit AFMG „Reflex“

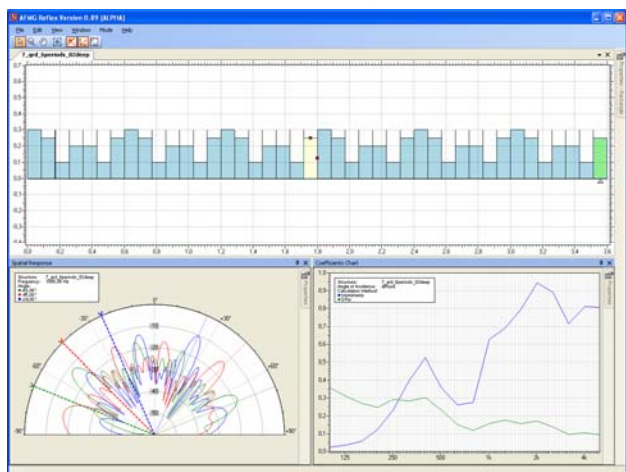


Abbildung 4: Berechnung der Streueigenschaften einer komplexeren Struktur mit AFMG „Reflex“

### Simulation des modalen Schallfelds mit dem AFMG „Studio-Simulator“

Im Frequenzbereich oberhalb der Schroeder-Frequenz lassen sich akustische Maße mit Hilfe der geometrischen Akustik berechnen. Raytracing-Tools wie „EASE AURA“ liefern hier gute Vorhersagen. Die geometrische Akustik verliert ihre Gültigkeit, wenn nicht mehr von einem diffusen Schallfeld ausgegangen werden kann. Unterhalb der Schroeder-Frequenz ist das Schallfeld modal geprägt und von der Geometrie des Raumes abhängig. Im Dreidimensionalen entstehen komplexe Schwingungsmuster. Auch lässt sich der Zusammenhang von Transferfunktion und modalen Schwingungsmustern aufzeigen.

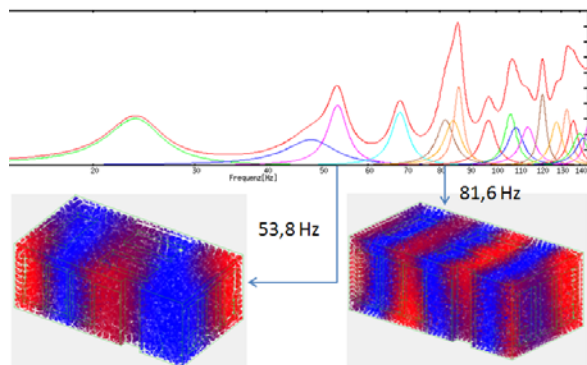


Abbildung 5: Visualisierung einzelner Moden mit dem AFMG „Studio-Simulator“ (Transferfunktion und modale Schwingungsmuster) [1]

In der Simulation kann nun z.B. die Beeinflussung des modalen Schallfelds durch gezielte Dämpfung einzelner Moden untersucht und visualisiert werden. Bringt man z.B. lokal in ein Druck bzw. Schnelle-Maximum einer Mode einen entsprechenden Absorber ein, kann diese Mode im Raum wirkungsvoll bedämpft werden, wie nachfolgende Abbildungen zeigen [1].

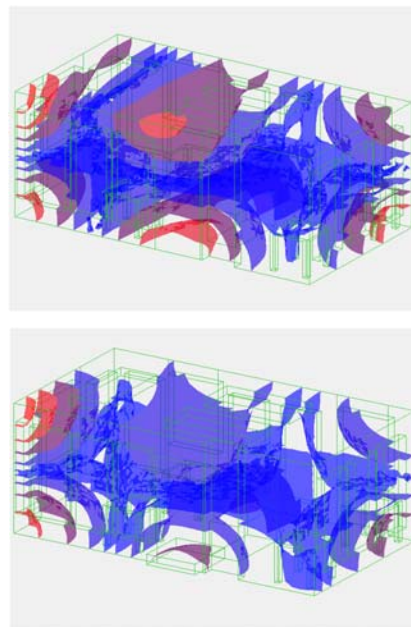


Abbildung 6: Visualisierung der Bedämpfung einer Mode im AFMG „Studio-Simulator“ durch lokale Einbringung eines Absorbers (oben ohne, unten mit Absorber) [1]

Simulation und Messung bei dieser Maßnahme stehen gut in Einklang, wie die folgenden Transferfunktionen zeigen:

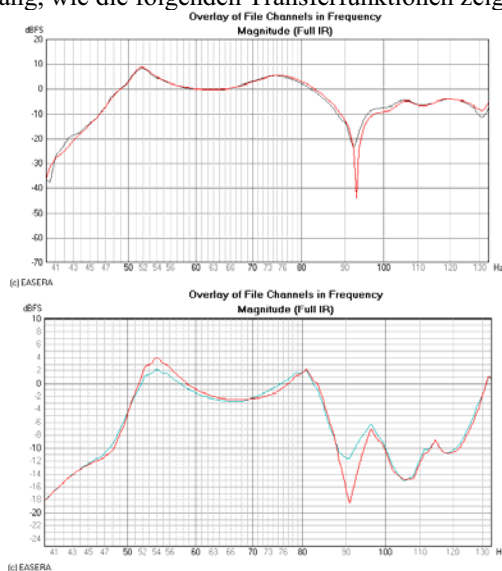


Abbildung 7: Messung (oben) und Simulation (unten) mit (hellblau) und ohne (rot) Moden-Bedämpfung [1]

### Literatur

[1] H.Schmalle (Ahnert Feistel Media Group), M.Makarski (IFAA Aachen), S.Feistel (AFMG Berlin), A.Goertz (IFAA Aachen): Welche Möglichkeiten bieten Simulationsprogramme zur Unterstützung bei der Planung eines Abhörtraumes? Tonmeister-Tagung 2010, Leipzig