

Über Versuche zur Auralisation virtueller Studioräume

Helmut Lamparter, Roman Stumpner

Institut für Rundfunktechnik D-80939 München

Einleitung

Die übliche raumakustische Planung von Studios beschränkt sich auf die Berechnung der vom Berater für „richtig“ gehaltenen Nachhallzeit und die Anordnung der Absorber an den erfahrungsgemäß „richtigen“ Stellen. Während der Planungsphase ist es häufig ein Problem, Bauherr und Nutzer von der Notwendigkeit bau- und raumakustischer Maßnahmen zu überzeugen, speziell klar zu stellen, dass die geplanten raumakustischen Maßnahmen zu der gewünschten Raumakustik führen, und dass die Kosten gerechtfertigt sind. Ob das Ergebnis den Erwartungen entspricht, stellt sich erst nach Fertigstellung des Raumes heraus. Dann kann der Raumeindruck beurteilt und Übertragungsmaße der vorgesehenen Lautsprecher und das Reflexionsverhalten gemessen werden. Um die Planungssicherheit zu erhöhen und dadurch unnötige Maßnahmen und Kosten zu vermeiden, wurde deshalb ein Programm entwickelt, das nicht nur den Planer bei seiner Arbeit durch die Darstellung akustischer Parameter unterstützen soll, sondern zusätzlich die Abhör-situation durch Auralisation realitätsnah wiedergeben kann.

Tonregieräume

Akustisch besonders kritische Studio-Räume sind Tonregieräume, in denen qualitativ hochwertige Tonaufnahmen beurteilt und bearbeitet werden. Entsprechend hoch sind die Anforderungen an die studioteknische Ausrüstung. Soll sich dieser Aufwand auszahlen, müssen bei der raumakustischen Ausstattung die wichtigsten raumakustischen Qualitätskriterien erfüllt werden, nämlich ein ausgeglichener Nachhallzeitverlauf, neutrale Klangfarbe und raumakustische Symmetrie.

Sollen diese Qualitätskriterien durch eine Schallfeldsimulation eines geplanten Abhör-raumes realitätsnah dargestellt werden, müssen die Eingangsgrößen mit vergleichbarer Genauigkeit beschrieben werden.

Schallsender und Empfänger

Gegenüber einem Konzertsaal mit den vielen Schallquellen des Orchesters hat die Situation in einem Regieraum den Vorteil, dass in der Regel nicht mehr als 5 Sender (Lautsprecher) an fixen Positionen vorkommen, deren Übertragungsfunktion messtechnisch relativ einfach erfasst werden kann.

Die richtungsabhängige Übertragungsfunktion der Lautsprecher wird mit dem MLS-Verfahren gemessen. Das Programm verarbeitet beliebige Frequenz- und Winkelaufösungen, zur Zeit wird mit einer Frequenzauflösung von 11.7 Hz und einer Winkelauflösung von 5° gerechnet. Die Messung eines Lautsprechers dauert ca. 1 Tag. Nach geringfügigen Umbauten kann mit der gleichen Messeinrichtung auch ein Empfänger z. B. ein Kunstkopf, gemessen werden.

Absorber

Das Absorptionsvermögen eines Absorbers wird durch das innere und äußere Schallfeld bestimmt. Wir sprechen vom Diffusfeldabsorptionsgrad, wenn wir den Absorber im

diffusen Schallfeld eines Hallraums gemessen haben. Da wir aber das Schallfeld im zu simulierenden Raum noch nicht kennen, sondern berechnen wollen, ist es ein Widerspruch, wenn wir voraussetzen, dass es diffus ist, und falsch, wenn wir für die Simulation Diffusfeldabsorptionsgrade einsetzen. Denn der wirksame Absorptionsgrad stellt sich erst in der Wechselwirkung zwischen Schallfeld und Absorber ein. Dass dies nicht graue Theorie ist, sondern in der Praxis vorkommt, zeigt das Beispiel in **Bild1**. Hier ist die mit Diffusfeldabsorptionsgraden geplante Nachhallzeit eines Studios dargestellt und das Ergebnis der Messung nach Fertigstellung. Ursache für die Abweichung war der stark winkelabhängige Absorptionsgrad der Absorber in Verbindung mit einer dazu passenden Raumgeometrie.

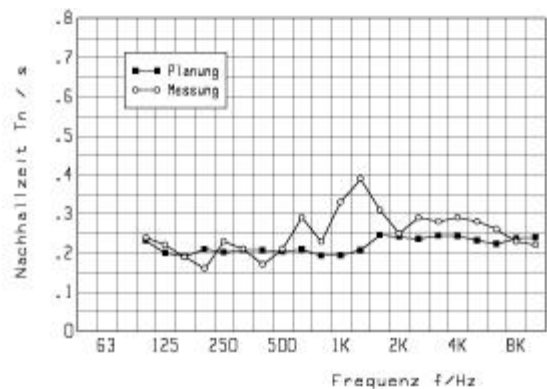


Bild 1: Fehler bei der Nachhallzeitberechnung

Sollen bei einer Simulation solche Effekte, die bei einer konventionellen Planung nicht in Erscheinung treten, bereits im Vorfeld erkannt werden, müssen die Reflexionsfaktoren der Absorber winkelabhängig nach Betrag und Phase bekannt sein.

Da entsprechende Messungen an Absorbern zu aufwendig wären, wurde eine theoretische Berechnung implementiert, wie sie in /1/ ausführlich beschrieben ist. Dabei werden Absorber durch Strömungswiderstände, Massen und Abmessungen beschrieben. Erfahrungen bei der konventionellen raumakustischen Planung der letzten Jahre haben gezeigt, dass viele Absorbertypen auf diese Weise mit guter Genauigkeit, schnell und einfach berechnet werden können. Typisch in Studios sind poröse Absorber mit und ohne vorgeschaltete Massenbeläge mit Deckschichten aus Lochblechen oder Schlitzgittern.

In **Bild 2** ist als Beispiel eine abgehängte Decke dargestellt. Sie besteht aus einem Lochblech mit einer Mineralfaserauflage im Abstand d_L vor einer Decke. Zur Berechnung wird der Absorber in zwei Schichten zerlegt und der Reflexionsfaktor in Abhängigkeit vom Einfallswinkel ϑ berechnet.

Die Geometrie der Absorber wird zunächst nicht berücksichtigt, der Absorptionsgrad gilt für einen unendlich ausgedehnten Absorber und ist stets 1.

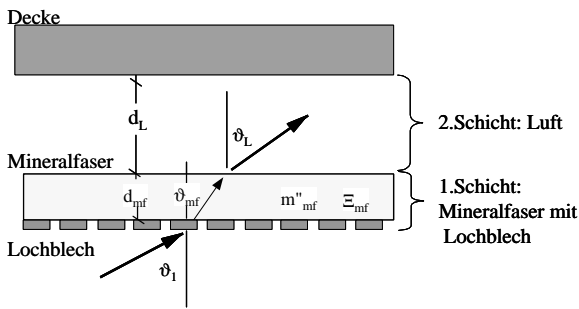


Bild 2: Abgehängte Decke

„Beugung“ an Absorbern

Es ist bekannt, dass auf Grund der Beugung Absorber äquivalente Absorptionsflächen erzeugen, die größer als ihre Oberfläche sind. Außerdem werden Absorber, die in der Nähe des Reflexionspunktes eines infinitesimal dünnen Schallstrahls liegen, in ihrer Wirkung nicht berücksichtigt. Bei der Simulation wird versucht, diese Probleme in erster Näherung dadurch zu lösen, dass unterhalb einer wählbaren Frequenzgrenze den Schallstrahlen eine empirisch ermittelte, frequenzabhängige „Dicke“ von $\lambda/2$ erteilt wird **Bild 3**. Dadurch wirken auch Absorberflächen, die sonst nicht vom Schallstrahl getroffen würden. Liegen die Absorber in einer Ecke auf verschiedenen Wandflächen, werden sie unter jeweils anderen Winkeln getroffen.

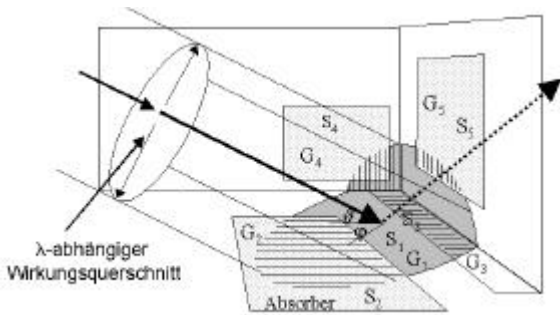


Bild 3: „Beugung“ an Absorbern

Deshalb wird aus den winkelabhängigen, flächenbewerteten Admittanzen G_1 bis G_5 der innerhalb der „Wirkfläche“ des Strahls liegenden Absorberflächen eine mittlere Admittanz bestimmt. Der daraus resultierende Reflexionsfaktor wird dem ursprünglichen Reflexionspunkt zugeordnet.

Raumgeometrie

Die Raumgeometrie wird für die Berechnung der Laufzeiten und Reflexionspunkte auf den Wänden benötigt. Da die Laufzeit in den Absorbern bei der Absorberberechnung berücksichtigt wird, liegt die geometrische Reflexionsebene auf der Frontseite der Absorber. Bei der Raumkonstruktion muss überlegt werden, welche Wände bei der Berechnung der Schallstrahlen berücksichtigt werden. Um den Rechenaufwand zu begrenzen, sollten es möglichst wenig Wände sein. Günstig ist eine Vorgehensweise wie in **Bild 4** dargestellt, bei der die Wände auf die Oberfläche der Absorber gelegt werden. Dieser Fall entspricht in den meisten Fällen der Realität, da die Absorber i. a. hinter einer Sichtverkleidung versteckt werden. Wandflächen auf denen keine Absorber liegen, werden mit Luftpolstern belegt, dadurch werden die Laufzeiten näherungsweise wie im realen Raum abgebildet.

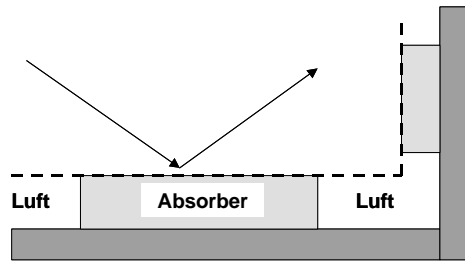


Bild 4: Raumgeometrie

Ergebnisse

Die Ergebnisse der Berechnung können als Übertragungsmaß, ETC, Impulsantwort oder Auralisation dargestellt werden. In **Bild 5** sind Messung und Simulation für einen Regieraum mit einem Volumen von ca. 100 m^3 dargestellt. Erste Simulationsversuche und nicht repräsentative Hörversuche haben gezeigt, dass eine genaue Berechnung der Raumübertragungsfunktion entscheidend für eine realitätsnahe Simulation ist. Wird z.B. die Beugung an Absorbern bei tiefen Frequenzen unter 300 Hz nicht berücksichtigt, so führt dies zu einer Überbetonung in diesem Frequenzbereich, die in der Auralisation so dominierend wirken kann, dass die höheren Frequenzen nicht mehr richtig beurteilt werden.

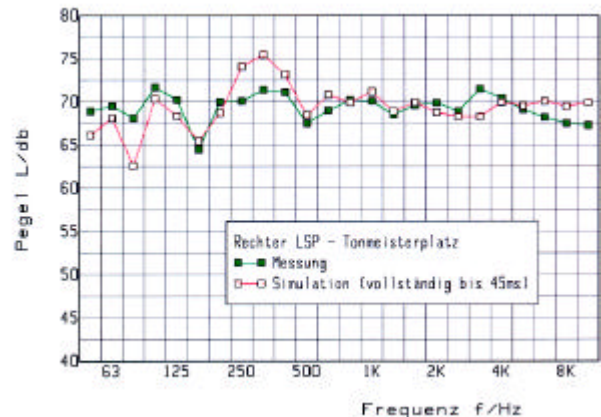


Bild 5: Regieraum 100 m^3 , Terzfrequenzgang

Bei AB-Vergleichen von Kunstkopfaufnahmen in simulierten und realen Räumen war festzustellen, dass es nicht einfach ist, die Abhörposition für beide Fälle mit hinreichender Genauigkeit festzulegen. Bereits Ungenauigkeiten in der Größenordnung von wenigen cm führten zu deutlich hörbaren Unterschieden. Auch in realen Räumen waren bei feststehendem Kopf Unterschiede zu hören, wenn die Abhörposition nur wenig verändert wurde. Kann der Kopf beim AB-Vergleich in der Horizontalen gedreht werden, wird der Höreindruck insgesamt realistischer.

Neben der Bearbeitung dieser Problematik wird es ein Schwerpunkt zukünftiger Arbeiten sein, eine physikalisch korrekte Lösung für das Problem der Beugung an Absorbern zu finden, ohne dass sich die Rechenzeit zu sehr verlängert.

Literatur

/1/ Mechel F.P. :Schallabsorber Band 1-3, Hirzel Verlag