

## Auralization of room acoustics - A tool for planning broadcast production rooms?

Sebastian Goossens, Roman Stumpner

Institut für Rundfunktechnik, D-80939 München, Germany

### Aufnahme- und Regieräume

Rundfunkproduktionsräume weisen aufgrund ihrer speziellen Nutzung einige Besonderheiten auf: Aufnahme- und Regieräume sollen einen ausgewogenen Frequenzverlauf der Nachhallzeit haben und dürfen keine Verfärbung der Aufnahme bewirken. Regieräume sollen eine gute Abhörsituation mit einem neutralen Klangbild bieten. Relativ zu ihrer Größe haben diese Räume eine geringe Nachhallzeit (z.B. 0,25 s bei einem Volumen von 100 m<sup>3</sup>). Bei der Planung solcher Räume kann eine Berechnung und Auralisierung der akustischen Abhörsituation besonders hilfreich sein, um störende akustische Effekte bereits vor der Fertigstellung zu erkennen und sie durch Änderungen in der akustischen Gestaltung zu minimieren.

Die Toningenieure und Tonmeister, die in diesen Räumen arbeiten, beurteilen aufgrund ihrer beruflichen Tätigkeit die Raumakustik und die Abhörsituation entsprechend kritisch. Eine während der Planung erstellte Auralisation muss daher die akustische Situation im realen Raum wirklichkeitsgetreu wiedergeben.

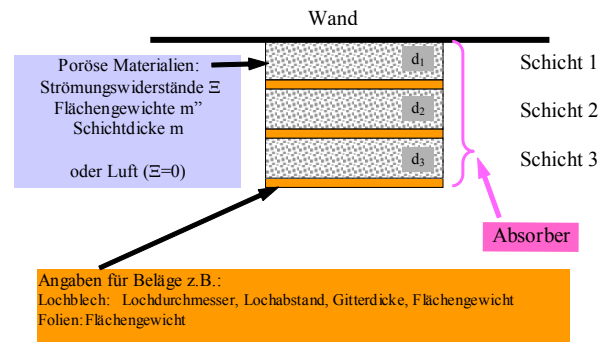
Um solche hochwertigen Auralisierungen von Schallfeldern in Produktionsräumen zu ermöglichen, wurde im Institut für Rundfunktechnik zum internen Gebrauch eine spezielle Software (AUVIS) entwickelt, die sich in einigen Punkten deutlich von anderen Produkten unterscheidet [1]. Im Folgenden werden die gewählten Berechnungsmethoden dargestellt und begründet.

### Diffusität

Das gewählte Berechnungsverfahren [2] basiert auf dem bekannten Spiegelquellenmodell. Um die Beiträge der einzelnen Schallstrahlen am Empfangsort berechnen zu können, müssen die Reflexionsfaktoren an den Schallbegrenzungsflächen bekannt sein. Üblicherweise werden dafür Oktav-Tabellenwerte verwendet, die aus Messungen der jeweiligen Wandverkleidungen im Diffusfeld vorliegen. Die vergleichsweise geringe Nachhallzeit in den Aufnahme- und Regieräumen zeigt an, dass kein ausgeprägtes diffuses Schallfeld vorliegt. Die Verwendung von Reflexionsfaktoren, die nur für diffusen Schalleinfall gültig sind, kann zu fehlerhaften Berechnungen führen. Sofort einsichtig wird dies im Falle von Mehrfachreflexionen zwischen parallelen Wänden (Flatterecho). Für deren Berechnung ist der Reflexionsfaktor für senkrechten Schalleinfall maßgebend.

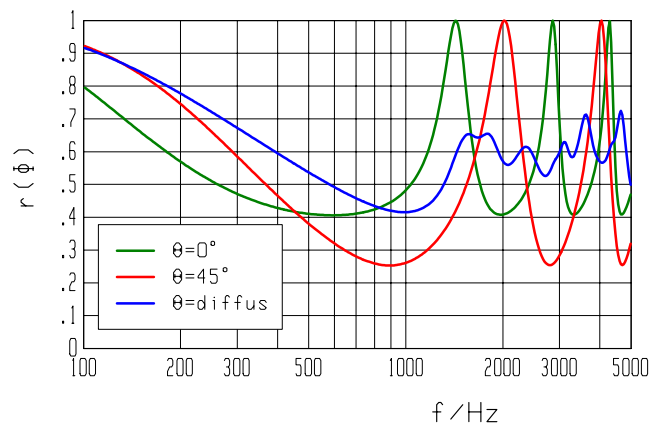
Bei Räumen mit vergleichsweise geringer Nachhallzeit muss zur Berechnung der Impulsantwort an einem Ort die Winkelabhängigkeit der einzelnen Wandreflexionen berücksichtigt werden. In der IRT-Software AUVIS wird der Reflexionsfaktor mit dem Absorber-Schichtenmodell (nach Mechel) berechnet. Bei der Modellierung wird der

Wandabsorber durch mehrere Schichten beschrieben. Jede dieser Schichten besteht aus einem Porösen Material, gekennzeichnet durch den Strömungswiderstand, das Flächengewicht und die Schichtdicke, und einem Belag, der z.B. durch das Flächengewicht gekennzeichnet wird.



**Bild 1:** Absorber-Schichtenmodell zur Berechnung der Wandimpedanz und des winkelabhängigen Reflexionsfaktors.

Ist der Wandabsorber in diesem physikalischen Modell komplett beschrieben, so kann damit die Wandimpedanz und daraus der winkelabhängige Reflexionsfaktor berechnet werden [2]. Wie Bild 2 zeigt, können die Frequenzverläufe für einzelne Schalleinfallswinkel deutlich von dem Frequenzverlauf für diffusen Schalleinfall abweichen. Nur durch die Verwendung des winkelabhängigen Reflexionsfaktors kann die Wirkung des reflektierten Schalls korrekt simuliert werden. Ein weiterer Vorteil des Absorber-Schichtenmodells ist, dass die Auswirkungen beliebiger Absorbervarianten berechnet werden können.



**Bild 2:** Frequenzgänge des Reflexionsfaktors eines Absorbers (Lochblech mit Vlies im Abstand von 12 cm vor der Wand) bei Schalleinfallswinkel von 0°, 45° und diffusem Schalleinfall

## Grenze der geometrischen Akustik

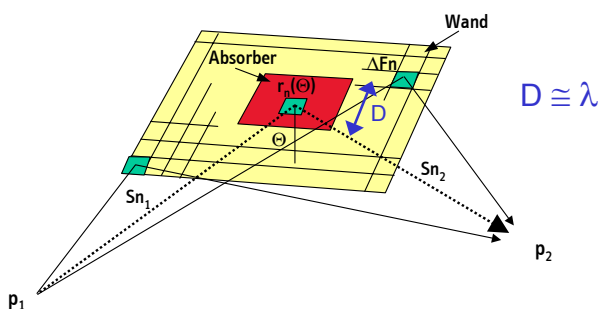
Die Beschreibung der Schallausbreitung und Schallreflexion mit Hilfe der geometrischen Akustik (Spiegelquellenmodell und Schallstrahlen mit lokaler Reflexion) ist nur gültig unter der Voraussetzung, dass die Raumabmessungen „groß“ im Vergleich zur Wellenlänge sind ( $D \gg \lambda$ ). Bei Räumen mit einem Volumen von ca. 100 m<sup>3</sup> (typische Abmessungen 4.5 m) liegt nach unserer Erfahrung die Grenze bei ca. 250 Hz (Wellenlänge 1.4 m). Unterhalb dieser Grenzfrequenz müssen das modale Schallfeld und die Eigenschaften von Kugelwellen berücksichtigt werden. Alle Ansätze hierzu scheitern aber bislang an einem unüberwindlichen Rechenaufwand. Um die Simulation bei tiefen Frequenzen dennoch zu verbessern, wurden verschiedene Möglichkeiten verfolgt.

Nahe liegend war, den Kugelwellenreflexionsfaktor für lokal wirksame Reflexion zu berücksichtigen [3]. Dieser Ansatz ist streng genommen nur für unendlich ausgedehnte Wände gültig, und die gesamte Fläche muss mit einem Absorbentyp belegt sein. Da der Ansatz zu keiner Verbesserung geführt hat, wurde er nicht weiter verfolgt.

Ein Fortschritt konnte durch die Mittelung von Wandadmittanzen erreicht werden. Dabei ist der Mittelungsbereich auf der Wandfläche von der Frequenz abhängig. [4]

## Laterale statt lokale Reflexion

Eine weitere Verbesserung der Auralisation bei tiefen Frequenzen konnte durch den Ansatz der lateralen Reflexion erzielt werden. Dabei wird zur Berechnung der Reflexion erster Ordnung die reflektierende Wand in Elemente unterteilt (vgl. Bild 3), die als Kugelquellen betrachtet werden (in Anlehnung an die Rayleigh-Methode). Für diese Flächenelemente werden die winkelabhängigen Reflexionsfaktoren einbezogen. Das Verfahren berücksichtigt die Begrenzung der Wandfläche und die unterschiedliche Verteilung der Wandabsorption. Es kann als Näherung für die Reflexion von Kugelwellen betrachtet werden.



**Bild 3:** Der Ansatz der lateralen Reflexion als Näherung für die Reflexion von Wänden bei tiefen Frequenzen.

## Kopfhörerdarbietung der Auralisation mit „Head Tracking“

Das Wiedergabesystem ermöglicht das Abhören in einem virtuellen Raum. Die Änderungen der Ohrsignale bei

Drehbewegungen des Kopfes werden interaktiv berücksichtigt. Der Vorteil dieser Kopfhörerdarbietung ist, dass die Schallquellen - wie beim natürlichen Hören auch - bei Drehbewegung des Kopfes an ihrer Position bleiben.

Beispielsweise kann dem Hörer eine 3/2 Lautsprecheranstellung in einem Regieraum präsentiert werden. Eine volle Kopfdrehung (360 Grad) ist möglich bei einer Winkelauflösung von einem Grad. In der technischen Umsetzung übermittelt ein am Kopfhörer angebrachter Orientierungssensor fortlaufend die aktuelle Winkelstellung des Kopfes an den Faltungs-PC. Aus einem vorher geladenen Datensatz werden die zur aktuellen Kopfstellung passenden Impulsantworten ausgewählt und zur Faltung verwendet.

Das System wurde im IRT entwickelt, um die Darbietung des Ergebnisses einer binauralen Faltung in einem PC mit eingescanteten (BRS) oder berechneten (BRM) Impulsantworten zu ermöglichen. Mit dem System ist eine binaurale Faltung von bis zu 8 Quellen im Raum möglich.

## Zusammenfassung

Die Auralisation kann mit Erfolg als Werkzeug zur Planung der Raumakustik von Rundfunkproduktionsräumen eingesetzt werden. Bei Räumen mit geringer Nachhallzeit muss die Winkelabhängigkeit des Reflexionsfaktors beachtet werden. Dazu hat sich die Berechnung mit dem Absorber-Schichtenmodell bewährt. Zur besseren Beschreibung des Reflexionsverhaltens von Wänden bei tiefen Frequenzen wurde eine brauchbare Näherung vorgestellt.

## References

- [1] Goossens, S.; Stumpner, R.; Lamparter, H.: Hochwertige Auralisation der Schallfelder in Produktionsräumen. In: Fernseh- und Kino-Technik FKT 7/2003. Heidelberg: Verlag Hüthig GmbH + Co. KG, 2003, S. 321 – 325
- [2] Stumpner, R.; Goossens, S.: About the influence of the reflection coefficient on simulation in room acoustics. In: Fortschritte der Akustik – CFA/DAGA'04 <30, 2004, Straßburg>. Deutsche Gesellschaft für Akustik e.V., Oldenburg 2004
- [3] Nocke, Chr.; Mellert, V.: Bestimmung der Impedanz aus Messungen bei streifenden Schalleinfall. In: Fortschritte der Akustik – DAGA'96 <22, 1996, Bonn>. Deutsche Gesellschaft für Akustik e.V., Oldenburg 1996
- [4] Lamparter, H.; Stumpner, R.: Über Versuche zur Auralisation virtueller Studioräume. In: Fortschritte der Akustik – DAGA'01 <27, 2001, Hamburg>. Deutsche Gesellschaft für Akustik e.V., Oldenburg 2001