

# Neukonzeption einer Hörsaalbeschallung

Jochen Kleber, G. Behler, S. Rauter, Institut für Technische Akustik, RWTH Aachen, jkl@akustik.rwth-aachen.de

## Einleitung

In einem Hörsaal der RWTH sollte die bestehende Beschallungsanlage für Sprachwiedergabe durch eine moderne Anlage ersetzt werden. Der Hörsaal hat 284 Plätze in 16 Reihen, die von vorne nach hinten um ca. 3 m ansteigen. In der Planungsphase wurden die möglichen Konzepte für die neue Beschallung, sowie die alte Anlage zunächst simuliert. Das realisierte Konzept, daß u.a. eine Lautsprecherzeile mit einer frequenzabhängigen akustisch wirksamen Länge enthält, wurde nach der Fertigstellung durch Messungen überprüft.

## Mögliche Konzepte

Während der Planung wurden die möglichen Konzepte unter folgenden Gesichtspunkten untereinander verglichen: Lokalisation des Sprechers, Homogenität des Schallfeldes, Installationsaufwand. Eine zentrale Beschallung von der Tafelwand, oder von der Decke über dem Sprecher haben den Nachteil, daß die hinteren Reihen der Publikumsfläche nur unzureichend versorgt werden. Dezentrale Konzepte, die das Publikum von der Decke oder von der Seite beschallen haben zwar den Vorteil einer homogenen Schallverteilung, bieten aber nur ein sehr schlechte Sprecherlokalisierung. Die hier genannten Nachteile werden von folgendem Konzept vermieden.

## Realisiertes Konzept

Realisiert wurde eine zentral-gestützte Beschallung von der Decke, da sie nicht die Nachteile der anderen Konzepte aufweist.

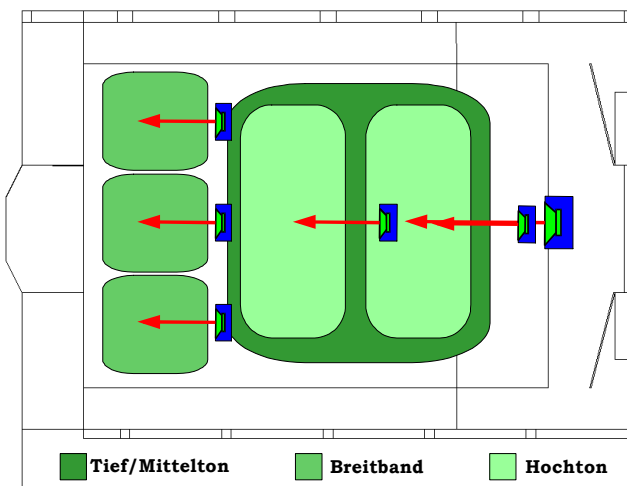


Abb. 1: Grundriss des Hörsaals, links Rückwand, rechts Tafelwand, Zentral-gestützte Beschallung von der Decke

Die vorderen 12 Reihen werden im Frequenzbereich bis 1,5 kHz von einer Lautsprecherzeile versorgt. Für höhere Frequenzen kommen zwei Hochtonhörner zum Einsatz, die den vorderen Teil der Publikumsfläche wie in der Skizze dargestellt versorgen. Die hinteren Reihen werden von drei Breitbandlautsprechern unterstützt. Die Form der Zeile mußte der vorgegeben Deckenstruktur angepaßt werden damit keine Sichtbehinderung für Zuhörer in der oberen Reihe auftritt. Die Ausrichtung wurde so gewählt, daß die Hauptabstrahlrichtung schon in die gewünschte Richtung zeigt, da die Richtcharakteristik der Einzellautsprecher dieses erfordert. Wie man Abbildung 2 entnehmen kann, wurden 2 der 6 Lautsprecher versetzt eingebaut, was durch entsprechende Filterung wieder ausgeglichen wird.

## Digital-Controller

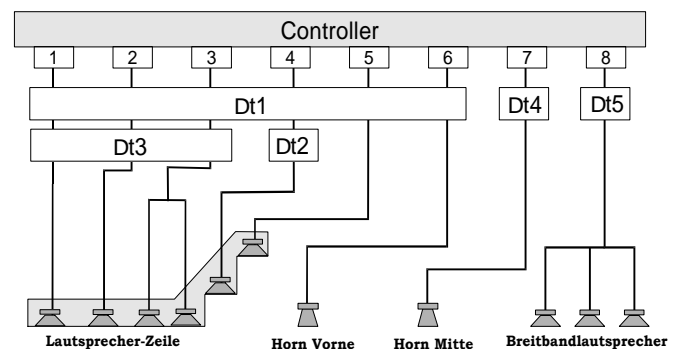


Abb. 2: Kanalbelegung des Digital-Controllers

Zur Ansteuerung wird ein Digital-Controller [1] eingesetzt, der für die Entzerrung und Frequenzweichenfunktion einer Stereo-4-Wege-Kombination entwickelt wurde. In dieser Anwendung wird er zur Ansteuerung der Zeile und als Delayprozessor für die verschiedenen Lautsprechereinbaupositionen eingesetzt. Um die akustisch wirksame Länge der Zeile für höhere Frequenzen zu verkürzen, müssen die

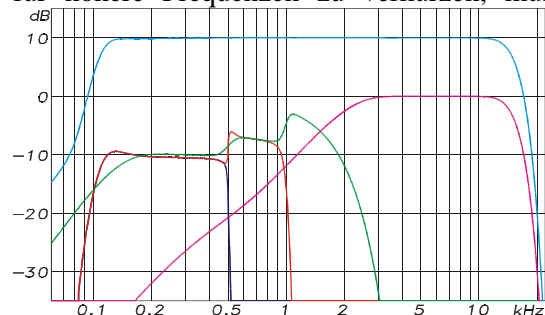


Abb. 3: Einzelfrequenzgänge der Lautsprecher in der Zeile und des vorderen Hochtonhorns

Übertragungsbereiche der äußeren Lautsprecher bei tieferen Frequenzen begrenzt werden. Die hierfür erforderlichen Bandpassfilter, die auch für die Entzerrung der Lautsprecher genutzt werden, wurden als FIR-Filter realisiert. Für die Gesamtentzerrung der Zeile wurde eine Phase vorgegeben, die der Phase eines Lautsprechers entspricht, wodurch die Filter annähernd minimalphasig werden. Die einzelnen Teilfilter enthalten dadurch natürlich noch die erforderliche Phaseninformationen, die z.B. zum Ausgleich der zurückliegenden Einbaupositionen innerhalb der Zeile erforderlich sind.

### Messtechnik

Da alle Pegel und Verzögerungen u.a. relativ zum Direktschall vom Sprecher beurteilt werden müssen, wurde ein Teil der Messungen mit einem künstlichem Sprecher [2] durchgeführt, der an der typischen Position des Dozenten plaziert wurde. Dieser Sprecher hat den Direktschall mit der Richtcharakteristik eines Menschen in den Raum abgestrahlt, und gleichzeitig die Beschallungsanlage über das Mikrofon gespeist, wodurch die Schallverteilung im Raum mit und ohne Anlage unter realen Bedingungen erzielt werden konnte. Mit dieser Anordnung wurden die im folgenden Beschriebenen Messungen der Verzögerungen und Pegel durchgeführt.

### Präzedenzeffekt

Um die Lokalisation des Sprechers sicherstellen zu können, darf der relative Pegel des verzögert dargebotenen Signals die in Abbildung 4 dargestellten Schwellen nicht überschreiten. Messungen ergaben, daß die Verzögerungen gegenüber dem Direktschall ortsabhängig in einem Bereich von 8 bis 18 ms liegen, so daß ein um ca. 10 dB höherer Pegel gegenüber dem Direktschall erlaubt ist.

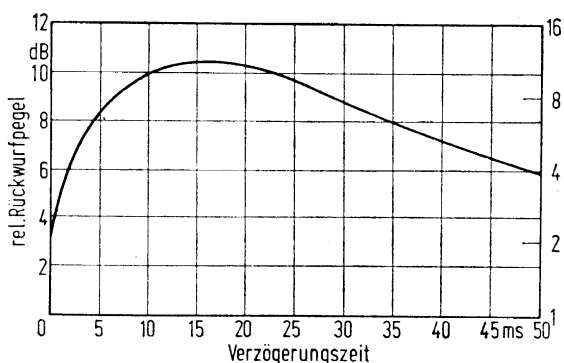


Abb. 4: Meyer, Schodder (1952)

### Messungen

Nach der Installation wurden an 40 Positionen, die über die gesamte Zuhörerfläche verteilt waren, Messungen der komplexen Übertragungsfunktion durchgeführt. Aus den verschiedenen Messungen

(nur Sprecher, Sprecher + Beschallung, nur Beschallung, nur Teile der Beschallung) konnten die Beiträge der einzelnen Komponenten bezüglich Zeitstruktur und Pegel genau bestimmt werden. Die Messungen wurden im leeren Hörsaal durchgeführt.

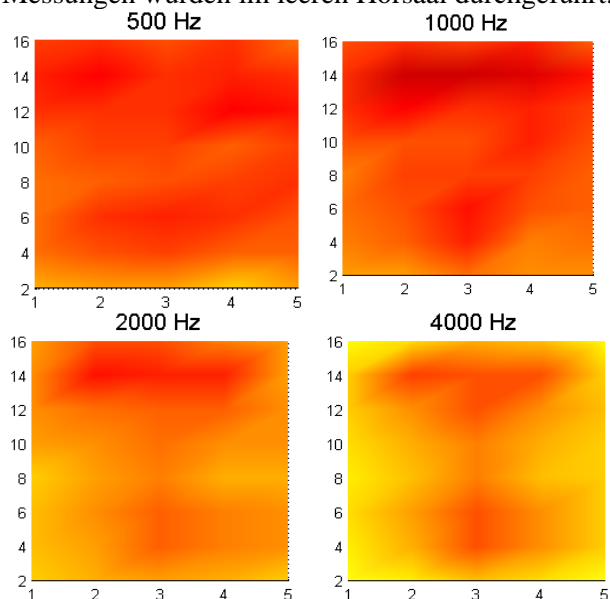


Abb. 5: Pegelverteilung in der Hörfläche (Oktavbänder; Reihen 2-16; 5 Positionen pro Reihe; der Pegelunterschied zwischen hellen und dunklen Bereichen beträgt ca. 5 dB)

Die hier nicht dargestellte Pegelverteilung, die sich ergibt, wenn nur der Sprecher aktiv ist, zeigt einen Pegelverlust von über 10 dB mit zunehmender Entfernung vom Sprecher. Die Deutlichkeit (D50) konnte in den Oktavbändern 2 kHz und 4 kHz für fast alle Positionen von 50% auf 80% bis 90 % gesteigert werden. In den vorderen Randbereichen, erreichte D50 einen Wert von 70%.

### Zusammenfassung

Mit dem hier dargestellten Konzept ist es gelungen, ein Beschallungsanlage zu realisieren, die dem Anspruch einer homogen Schallverteilung und guten Lokalisierbarkeit des Sprechers gerecht wird. Das durch die Simulation zu erwartende Ergebnis konnte durch Messungen bestätigt werden. Die Anlage wird ab dem Sommersemester 2001 eingesetzt. Auf die Erfahrungen und Beurteilungen durch Dozenten und die Studierenden darf man gespannt sein.

### Literatur

- [1] Sapp, Kleber: „Universal Audio Signal Processing System“, Acustica united with acta acustica 86 (2000) No. 1, p 185
- [2] Kob, M., Jers, H.: „Directivity measurement of a singer“ (Poster) The Conference CD-ROM: Collected Papers from the joint meeting "Berlin99"