

Entwicklung eines achtkanaligen Lautsprechermoduls für die Wellenfeldsynthese

Anselm Goertz¹, Michael Makarski², Christoph Moldrzyk³, Stefan Weinzierl⁴

¹ Audio & Acoustics Consulting Aachen, Deutschland, Email: anselm.goertz@t-online.de

² Audio & Acoustics Consulting Aachen, Deutschland, Email: mckarski@web.de

³ Visaural Berlin, Deutschland, Email: aural@prz.tu-berlin.de

⁴ TU-Berlin, Deutschland, Email: stefan.weinzierl@tu-berlin.de

Einleitung

Für die Ausstattung eines großen Hörsaals (H104) der TU-Berlin [1][2] mit einer Wellenfeldsyntheseanlage wurde ein spezielles Lautsprechermodul mit der Zielsetzung konstruiert, sich gut in die architektonischen Gegebenheiten des Raumes einzufügen und die besonderen akustischen Verhältnissen eines Hörsaals zu berücksichtigen.

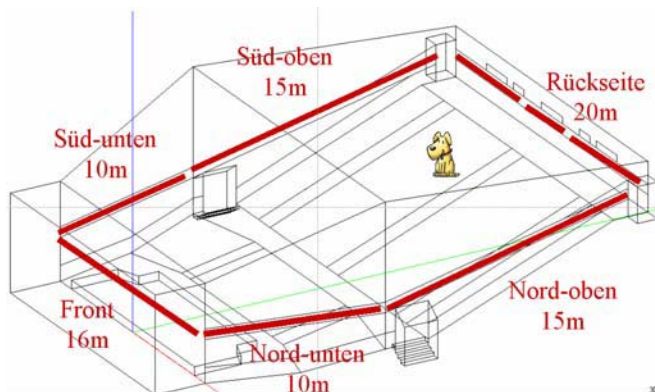


Abbildung 1 EASE Modell des Hörsaals mit den Lautsprecherlinien für die Wellenfeldsynthese

Auf einer umlaufenden Länge von ca. 86 m sind insgesamt 832 Kanäle angeordnet. Ausgespart wurden dabei lediglich vier kurze Teilstücke an der Rückseite des Raumes für die hinteren Ausgänge und für die Zugänge zur Regie. Im hinteren Bereich des Saals befinden sich die Lautsprecher knapp über Kopfhöhe der Zuhörer. Weiter nach vorne vergrößert sich der Abstand zwischen den Lautsprecher und der Ohrhöhe der Zuhörer, da die Lautsprecherlinie oberhalb der vorderen Eingangstüren entlang geführt werden musste. Eine tiefere Position war an dieser Stelle nicht möglich, da die breiten Eingangstüren weder versperrt werden durften noch Lücken in der Linie in dieser Größenordnung vertretbar waren.

Anforderungen

Für die Wellenfeldsynthese ist ein möglichst kleiner Abstand der Kanäle zueinander wünschenswert. Für das hier vorgestellte Projekt wurde ein Abstand von 10 cm vorgegeben. Die daraus resultierende große Anzahl von Kanälen erforderte ein entsprechend kostengünstiges Konzept, so dass die Auswahl auf einfache Breitbandlautsprecher mit der Unterstützung durch zusätzliche Tieftöner fiel. Für das Abstrahlverhalten der Lautsprecher wurde ein möglichst breiter horizontaler Abstrahlwinkel bis zu den höchsten Frequenzen angestrebt bei einem gleichzeitig engem vertikalen Öffnungswinkel, um die Reflexionen vom Boden und von der Decke des Raumes zu reduzieren.

Die Ausdehnung der Anlage erforderte eine einfache digitale Signaldistribution und die Möglichkeit der Fernsteuerung und Fernwartung der Lautsprecher per Netzwerk. Zur Vermeidung von Überlastung oder Beschädigung der Lautsprecher durch zu

hohe Pegel wurde zudem ein sicheres Limiterkonzept vorausgesetzt.

Lautsprecherkonzept

Die Lautsprecher wurden als achtkanalige Module mit 80 cm Breite konzeptioniert, die so aneinander gereiht werden können, dass die Linie mit äquidistanten Kanalabständen fortgesetzt wird. Ein Kanal besteht aus je drei Breitbandlautsprechern, die über ein einfaches passives Netzwerk so angesteuert werden, dass nur ein Lautsprecher bis zu den höchsten Frequenzen arbeitet und die beiden anderen Systeme frühzeitig über Tiefpassfilter ausgeblendet werden. Mit diesem Verfahren wird ein konstant enges vertikales Abstrahlverhalten über einen weiten Frequenzbereich (ab 1 kHz aufwärts) erreicht. Für eine ausreichende Pegelfestigkeit im Bassbereich werden die Signalanteile unterhalb von 200 Hz extrahiert und über einen gemeinsamen Tieftöner für je vier Kanäle wiedergegeben.



Abbildung 2 Achtkanaliges Lautsprechermodul mit Breitbandsystemen in 10 cm Abstand und Tieftönern in 40 cm Abstand

Das Elektronikmodul des Lautsprechers ist mit 10 Endstufenkanälen (8x 40 Watt und 2x 100 Watt), einem DSP System zur Signalverarbeitung und einem ADAT-Interface zur Signaleinspeisung ausgestattet. Die Programmierung und Fernüberwachung erfolgt über eine standardisierte Ethernet Schnittstelle mit DHCP Fähigkeit, so dass alle Lautsprecher über ein herkömmliches PC Netzwerk mit dem Steuerrechner kommunizieren können. Das integrierte DSP-System ermöglicht mit FIR-Filtern eine phasenlineare Entzerrung der einzelnen Wege oberhalb von 300 Hz. Vier unabhängigen Limitern pro Kanal bieten zudem einen weitreichenden Schutz vor thermischer und mechanischer Überlastung der Lautsprecher sowie vor Verzerrungen durch Übersteuerung der Endstufen.

Messwerte

Für eine erste messtechnische Bewertung der Lautsprecher unter Laborbedingungen erfolgten die Messungen in einem Halbfreifeldraum mit dem Lautsprecher in Rückenlage auf dem Boden entsprechend der späteren Wandmontage im Hörsaal. Zur Vermeidung von Kanteneffekten wurde das zu messende Element beidseitig um je zwei Elemente erweitert.

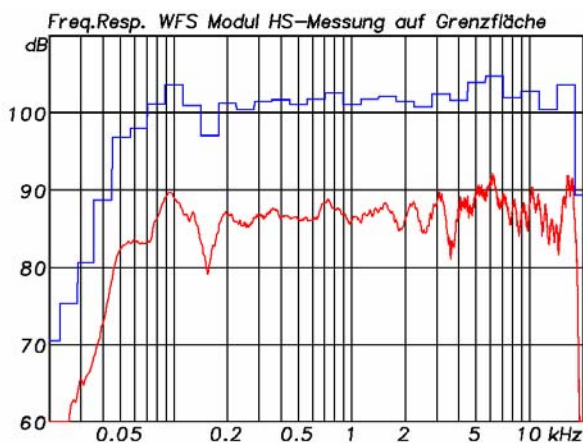


Abbildung 3 Frequenzgang (rot) eines WFS-Kanals innerhalb der Linie auf einer Grenzfläche gemessen. Erreichbarer Maximalpegel in 1 m Entfernung

Der Verlauf des Frequenzganges in Abbildung 3 zeigt auch ohne weitere Filterung bereits einen weitgehend ausgeglichenen Verlauf von 50 Hz bis 20 kHz. Der schmale Einbruch bei 180 Hz entsteht durch die Bodenreflexion in dieser Messposition. Die zweite blaue Kurve in Abbildung 3 stellt in Terzschritten den maximal erreichbaren Pegel in 1 m Entfernung dar, wenn die gesamte verfügbare Leistung im jeweiligen Terzband liegt.

Inbetriebnahme

Bei der Inbetriebnahme der Wellenfeldsyntheseanlage im Hörsaal wurde jeder Kanal einzeln vermessen. Der nicht unerhebliche Aufwand diente zum einen der vollständigen Funktionskontrolle und als Basis für die Berechnung der Ortsanpassung. Unter Ortsanpassung ist hier die Korrektur der Frequenzgangabweichung zu verstehen, die durch das direkte akustische Umfeld und die Einbausituation der Lautsprecher entsteht. So ist die vordere Lautsprecherlinie auf einer weitgehend ebenen und glatten Wandfläche aufgesetzt und strahlt ungestört in den freien Raum. Die hintere Linie ist dagegen bündig in die Wand eingelassen und strahlt streifend über dicht vor den Lautsprechern beginnende Sitzreihen. Die Filterfunktionen wurden mit Hilfe der FIR-Filter in den DSP-Systemen phasenlinear realisiert.

Die Messungen erfolgten mit Hilfe eines PC gestützten Meßsystem mit Sweep-Signalen vom Grad 16. Das Messsignal wurde an zentraler Stelle direkt in das digitale MADI-ADAT Netzwerk eingespeist und das Mikrophonsignal via digitaler Sendestrecke zum Messplatz zurückgeleitet. Dank dieser komfortablen Technik war es trotz der großen Kanalzahl möglich, die komplette Anlage in vertretbarer Zeit vollständig zu messen. Aus den Einzelmessung ließ sich ableiten, dass eine Unterteilung der Linie in sechs lokale Zonen sinnvoll ist. Das sind die Vorderseite und Rückseite des Saals, sowie jeweils der untere und obere Bereich der Seitenlinien. Innerhalb einer Zone zeigten alle Kanäle ein ähnliches Verhalten im Frequenzgang, so dass aus einer gemittelten Kurve der betreffenden Zone die Filtereinstellung für die Ortsanpassung aller Kanäle in dieser

Zone berechnet werden konnte.

Abbildung 4 zeigt die gemittelten Kurven für die sechs Raumzonen, wo vor allem die Bereiche an der Vorder- und Rückwand auffallen. Die vier gemittelten Kurven der Zonen an den Seitenwände sind dagegen nahezu identisch. Besonders auffällig sind die Interferenzen der Rückwand Linie (violette Kurve), die durch die Reflexion an den Rückenlehnen der letzten Stuhldreie entstehen.

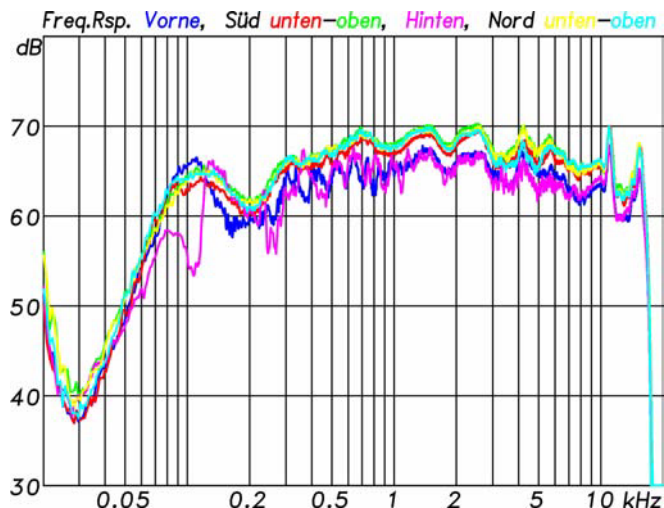


Abbildung 4 Für die sechs Bereiche im Hörsaal gemittelte Frequenzgänge zur Berechnung der EQ-Einstellungen

Die Ortsanpassung korrigiert nicht die Feinstruktur der Frequenzgänge, sondern lediglich den tendenziellen Verlauf. Für weitere Filterungen stehen pro Kanal noch zwölf frei programmierbare IIR-Filter zur Verfügung.

Fazit

Im Hörsaal H104 der TU-Berlin wurde zu diesem Zeitpunkt eine der weltweit größten Wellenfeldsynthese Anlagen mit 832 Kanälen und 86 Metern umlaufender Länge installiert. Um eine kostengünstige Lösung zu ermöglichen, wurde ein spezielles achtkanaliges Lautsprechermodul entwickelt, das mit kurzen Zeilen aus Breitbandlautsprechern und zusätzlichen Tieftönern arbeitet, womit sich das gewünschte Verhalten mit einer breiten horizontalen und einer engen vertikalen Abstrahlung einfach realisieren ließ. Für die Signalverteilung kommt ein MADI Netzwerk mit ADAT Unterverteilungen aus Standardkomponenten zum Einsatz. Das digitale ADAT Signal wird in den Lautsprechern direkt einem DSP-System zugeführt, wo alle Filterungen sowie Limiter- und Schutzfunktionen auf digitaler Ebene ausgeführt werden. Über eine Netzwerkanbindung wird sowohl die Fernsteuerung, wie auch die Fernüberwachung sichergestellt. Beides sind wichtige Aspekte im alltäglichen Gebrauch und bei der technischen Wartung und Überprüfung der Anlage.

Literaturhinweise

- [1] T.Behrens, W.Ahnert, C.Moldrzyk :
Raumakustische Konzeption von Wiedergaberräumen für Wellenfeldsynthese am Beispiel eines Hörsaals der TU Berlin,
Fortschritte der Akustik, DAGA Tagungsband 2007
- [2] C.Moldrzyk, A.Goertz, M.Makarski, S.Feistel, S.Weinzierl, W.Ahnert :
Wellenfeldsynthese für einen großen Hörsaal,
Fortschritte der Akustik, DAGA Tagungsband 2007