

Messungen an Lautsprecheranlagen für die Wellenfeldsynthese

Anselm Goertz¹, Michael Makarski², Christoph Moldrzyk³

¹ Audio & Acoustics Consulting Aachen; anselm.goertz@t-online.de

² Audio & Acoustics Consulting Aachen; mckarski@web.de

³ VISAURAL Berlin; aural@prz.tu-berlin.de

Einleitung

Messungen an Lautsprecheranlagen für die Wellenfeldsynthese sowie die daraus entstehenden Korrekturwerte in Form einer Filterung stellen eine notwendige Voraussetzung für einen hohen Anforderungen genügenden Klang von Wellenfeldsyntheseanlagen dar. Dies wird am Beispiel der aus 104 Modulen mit gesamt 2700 Lautsprechern bestehenden Wellenfeldsyntheseanlage in dem Hörsaal H 104 der TU Berlin verdeutlicht. Die hier eingesetzten Lautsprechermodule bestehen aus:

- Aktiven 2-Wege Systemen mit je einem Tieftöner für vier Kanäle (Trennfrequenz bei ca. 200 Hz) und drei Breitbändern für den Frequenzbereich von 200 Hz bis 18 kHz (Trennfrequenzen 5,5 und 10 kHz) [1]
- Pro Kanal ein digitales FIR-Filter mit bis zu 2000 Taps bei 48 kHz Samplerate
- FIR-Filter zur:
 - Systementzerrung in Amplitude und Phase
 - Ortsanpassung

Freifeldmessung

Messungen an Lautsprechern unter Freifeldbedingungen stellen grundsätzlich die Ausgangsbasis für alle weitergehenden Messungen und Anpassungen an Lautsprechersystemen dar. Im Fall von Wellenfeldsyntheseanlagen und den verwendeten Lautsprechern gilt dies umso mehr, als in Form der räumlichen Verortung (Wandnähe, Reihung) und der Betriebssoftware weitere akustisch wirksame Einflüsse hinzukommen.

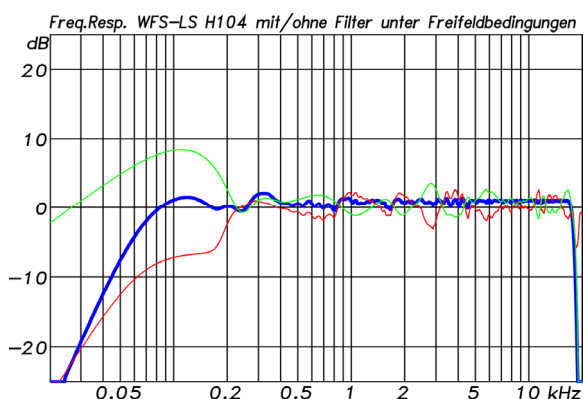


Abbildung 1 Messung Amplitudengang LS-Modul (rot), aus Zielfunktion resultierendes invertierendes Filter (grün) und nahe an der Zielfunktion liegendes Ergebnis (blau)

Um den gewünschten glatten Amplitudenverlauf von 50 Hz bis 18 kHz (-6 dB) zu erreichen, wurden die für den Hörsaal H 104 entwickelten Lautsprechermodule unter Freifeldbedingungen im reflexionsarmen Raum gemessen.

Das Korrekturfilter ergibt sich aus gemessenem Amplitudenverlauf und Wunschfunktion und stellt in gewissen Grenzen den invertierten Verlauf des Amplitudengangs des Lautsprechers dar. Einschränkungen gibt es durch die geringe Filterlänge (400 Taps) bei den tiefen Frequenzen, auch der Phasengang kann im Bereich tiefer Frequenzen nur marginal entzerrt werden.

Grenzflächen- und Linienmessungen

Bei vergleichenden Messungen der Lautsprecher auf einer Grenzfläche bzw. unter Simulation der in der Einbausituation auftretenden Reihung in einer Linie ergaben sich Unterschiede, die deutlich machen, dass zusätzliche Messungen im eingebauten Zustand notwendig sind.

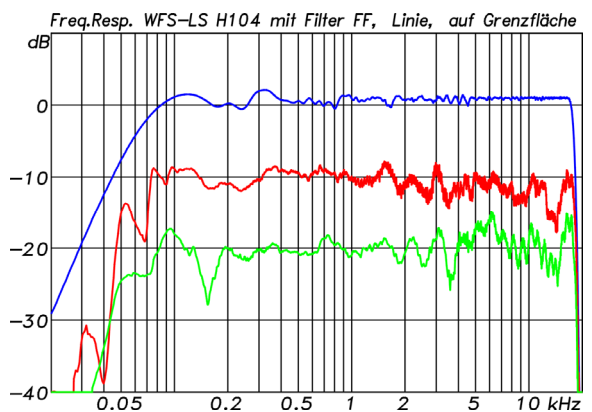


Abbildung 2 Messung LS-Modul Amplitudengang mit Filter unter FF-Bedingungen (blau), als Linie angeordnet unter simulierter Reihung (rot) und unter Grenzflächenbedingungen (grün)

Messungen im eingebauten Zustand

Die Summe der Messungen der Einzelkanäle der im Hörsaal in vier unterschiedlichen Wänden eingebauten Lautsprechermodule ergab, dass die symmetrisch gelegenen Einbausituationen der Lautsprecher an den beiden Seitenwänden mit einem gemeinsamen Filter, die Front- und Rückwand aber mit jeweils eigenen Filtern zu korrigieren waren.

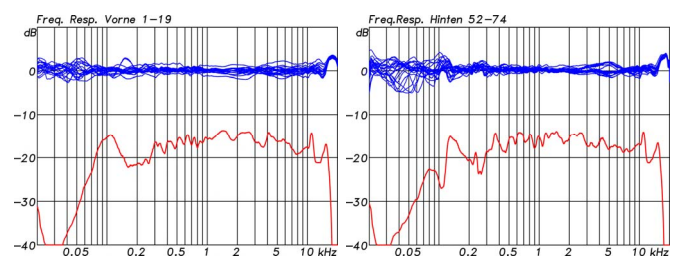


Abbildung 3 Einzelmessungen (blau) und Mittelwerte (rot) der LS an der Frontwand (links) u. Rückwand (rechts)

Zur Korrektur wurden jeweils Mittelwerte aller Messungen der eng beieinanderliegenden Kanäle der Einzelsysteme (ca. +/- 1,5 dB) genutzt.

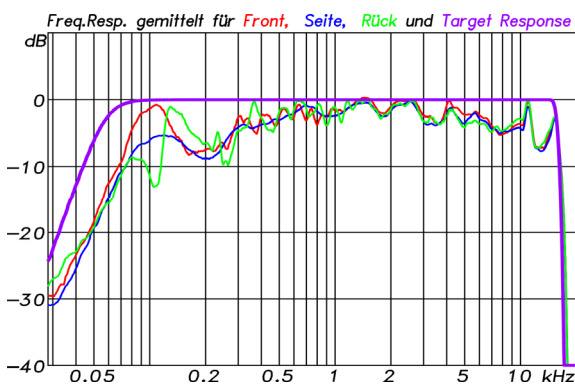


Abbildung 4 Mittelwerte der Messergebnisse für Front-, Seiten- und Rückwand mit Zielfunktion

Ortsanpassung

Um die Effekte der Reihung der Lautsprechermodule meßtechnisch zu ermitteln und dabei einen räumlich annähernd gleich verteilten Bezugsmittelwert zu erzielen, ist es notwendig, energetisch aus verschiedenen Meßpositionen zu mitteln. Dies wurde für den zentralen Kanal in der Mitte der Frontwand unter Berücksichtigung von 16 Einzelpositionen in Reihe 7 durchgeführt (Meßpositionen s. Abb. 5).

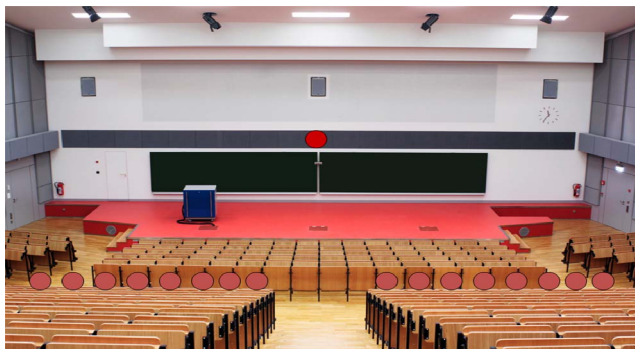


Abbildung 5 Meßpositionen Reihe 7 (braun) der energetischen Mittelung für Ortsanpassung Mittenkanal (rot)

WFS-EQ

Die komplette Entzerrung einer Wellenfeldsyntheseanlage ist mit der Ortsanpassung jedoch noch nicht abgeschlossen. Erst eine zusätzliche Entzerrung aufgrund der räumlichen Verteilung der über Wellenfeldsynthese darzustellenden Primärquellen ermöglicht die komplette Filterung der Wellenfeldsyntheseanlage unter Beachtung der Zielfunktion. Zu diesem Zweck wurden mittige Primärquellen im variablen Abstand von der WFS-Anlage dargestellt und vermessen.

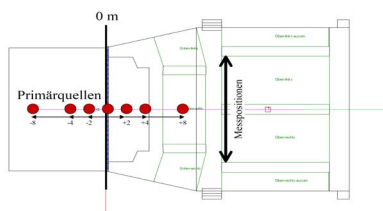


Abbildung 6 Primärquellen (rot) in verschiedenen Abständen, Messposition des Mikrofons in Reihe 7

Aus dieser Messung ergibt sich eine gemittelte Kurve für die Primärquellen, die unabhängig von der Entfernung ist und die im Vergleich zur energetisch gemittelten Kurve des einzelnen zentralen Kanals den WFS-EQ ergibt.

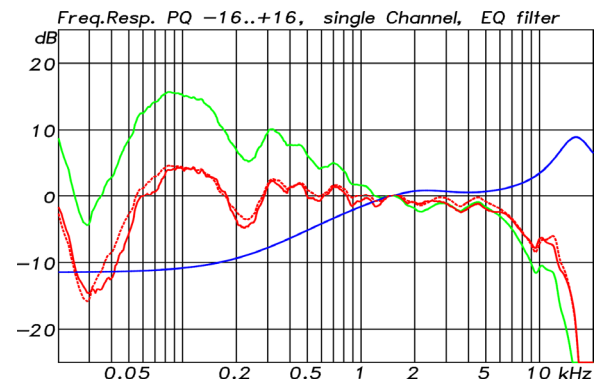


Abbildung 7 Gemittelte Kurve für Primärquellen (grün), Bezugscurve (rot) u. resultierender WFS-EQ (blau)

In den nachfolgenden Meßdiagrammen ist die Entstehung der Gesamtentzerrung durch Überlagerung der drei Kurven gezeigt.

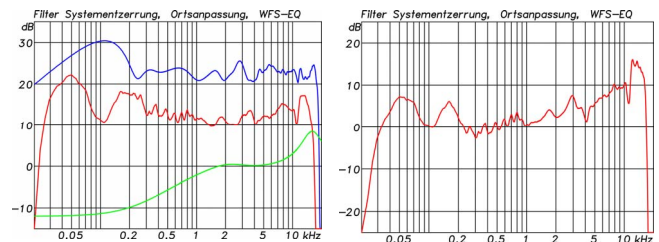


Abbildung 8 links: Systementzerrung (blau), Ortsanpassung (rot), resultierender WFS-EQ (grün); rechts: Gesamtentzerrung (rot)

Fazit

Die erfolgreiche Einmessung einer WFS Anlage besteht aus folgenden Komponenten :

- Systementzerrung der Lautsprecher unter Freifeldbedingungen als Basis
- Ortsanpassung und WFS-EQ sind erforderlich für eine gleichmäßige und tonal ausgeglichene Wiedergabe
- Umsetzung mit digitalen IIR- und/oder FIR-Filtern [2]

FIR-Filter sind besonders schnell und präzise einzustellen, bedürfen allerdings einer relativ hohen Rechenleistung. Dies muß bereits bei der Systemplanung [3] berücksichtigt werden.

Literaturhinweise

- [1] Goertz, A., Makarski, M., Moldrzyk, C., Weinzierl, S. (2007). *Entwicklung eines achtkanaligen Lautsprechermoduls für die Wellenfeldsynthese*. Stuttgart, Fortschritte der Akustik, DAGA 2007.
- [2] Makarski, M., Goertz, A., Moldrzyk, C. (2008). *Computer Aided Loudspeaker Design - Entwicklung der Wellenfeldsyntheselautsprecher für den H 104 TU Berlin*. Dresden, Fortschritte der Akustik, DAGA 2008.
- [3] Moldrzyk, C., Goertz, A., Makarski, M. (2008). *Planung von WFS-Systemen am Beispiel der Wellenfeldsyntheseanlage der TU Berlin*. Dresden, Fortschritte der Akustik, DAGA 2008.