

# Computer Aided Loudspeaker Design - Entwicklung der Wellenfeldsynthese-Lautsprecher für den H104 Berlin

Michael Makarski und Anselm Goertz<sup>1</sup>, Christoph Modrzyk<sup>2</sup>

<sup>1</sup> IFAA - Institut für Akustik und Audiotechnik, 52134 Herzogenrath-Kohlscheid, Deutschland,  
Email: michael.makarski@ifaa-akustik.de, anselm.goertz@ifaa-akustik.de,

<sup>2</sup> Visaural, Berlin, Deutschland, Email: aural@prz.tu-berlin.de

## Einleitung

Die professionelle Entwicklung von Lautsprecheranlagen kann mit numerischen Methoden mit sehr hoher Vorhersagegenauigkeit des Ergebnisses komplett am PC durchgeführt werden. Dabei greifen numerische Abstrahlungsberechnungen, CAD-Daten der Gehäuse und Schallführungen (Hörner), Vierpoldaten der Komponenten, TS-Parameter sowie Tools zur Berechnung der Abstrahlung von Mehrwegesystemen inklusive der Frequenzweichenfunktionen nahtlos ineinander über. Am Beispiel der kostenoptimierten Wellenfeldboxen für den H104 an der TU Berlin und Konzepten zur Weiterentwicklung eines Nachfolgelautsprechers wird das Verfahren anhand von Berechnungs- und Messergebnissen erläutert.

## Der Lautsprecher für den H104 an der TU Berlin

Bei der Realisierung des Lautsprechers für die Wellenfeldsyntheseanlage in Berlin mussten zum einen die typischen Anforderungen des Verfahrens der Wellenfeldsynthese (WFS) berücksichtigt werden, aber gleichzeitig auch das Abstrahlverhalten an die Aufhängeposition und die Raumakustik angepasst werden.

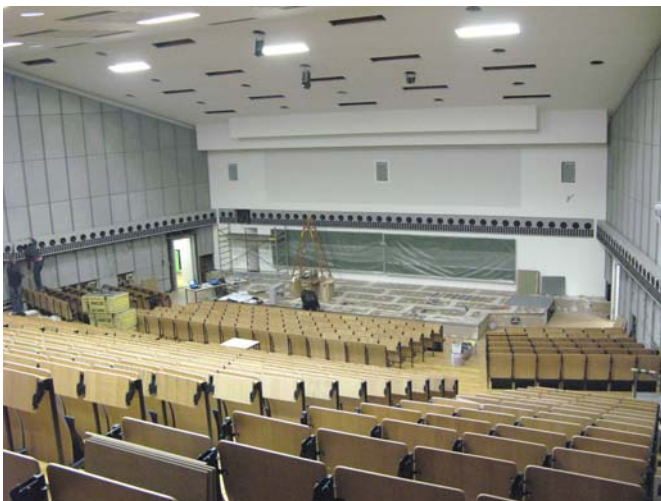


Abbildung 1: Hier ist der H104 während der Installation der Lautsprecher zu sehen. Gut zu erkennen ist die eigentlich nicht optimale zu hohe Montageposition der Lautsprecher.

Der Lautsprecher wurde mit einem für WFS sehr geringen Kanalabstand von nur 10cm umgesetzt, wobei die vertikale Directivity möglichst eng und nach unten gerichtet sein

sollte. In der Horizontalen war hingegen eine möglichst breite Abstrahlung erwünscht.



Abbildung 2: Der Lautsprecher für den H104

Die geforderte enge vertikale Bündelung wurde mit einer Zeilenanordnung von Breitbandchassis realisiert.

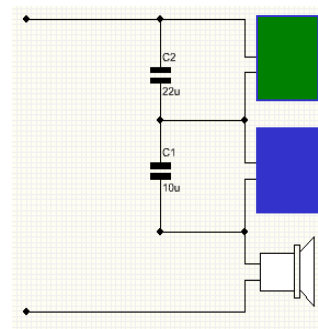


Abbildung 3: Frequenzweiche eines Kanals

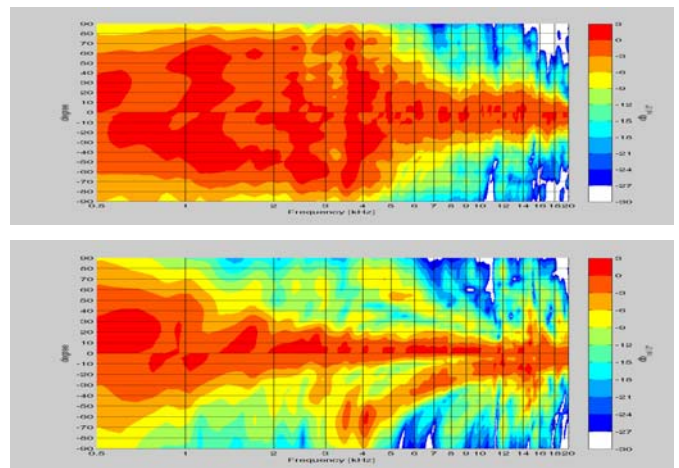


Abbildung 4: Horizontales (oben) und vertikales Abstrahlverhalten (unten).

Abbildung 4 zeigt das für diese Konfiguration gemessene horizontale und vertikale Abstrahlverhalten.

### Weiterentwicklung der WFS-Lautsprecher

Für die nächste Generation der WFS-Lautsprecher wurden zunächst verschiedene Konzepte mit Hilfe moderner Simulationsverfahren untersucht. Ziel in der Entwicklung ist es die horizontale Strahlbreite im Bereich jenseits von 5kHz zu vergrößern, die Vertikale gleichmäßiger zu gestalten, sowie einen höheren Maximalschalldruck zu erreichen.

Die Vorgehensweise bei der PC-gestützten Entwicklung kompletter Lautsprecher gliedert sich in 3 Schritte. Im ersten Schritt wird ein 3D-Modell im CAD erstellt. Dabei werden nur die für die Abstrahlung relevanten Flächen dargestellt. Im zweiten Schritt erfolgt mit der BEM (Boundary Element Method) eine Abstrahlungsberechnung von der Geometrie für alle im Simulationsmodell definierten Quellen. Im letzten Schritt wird das Gesamtabstrahlverhalten der Anordnung durch Superposition der gefilterten Einzelwege berechnet.

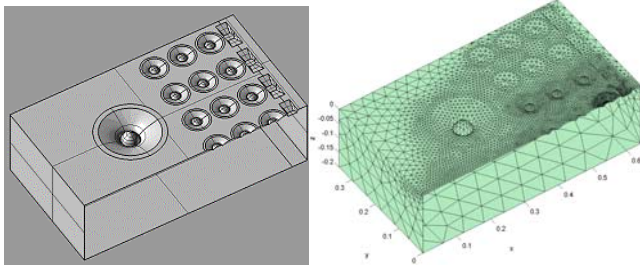


Abbildung 5: Konzeptmodell und zugehöriges in der Oberfläche als Dreiecksmesh diskretisierte Simulationsmodell.

Das in Abbildung 5 gezeigte Konzeptmodell entspricht weitestgehend dem ursprünglichen Lautsprecher im H104, wurde jedoch durch einen Horntriebter mit Miniaturhorn ergänzt. Die Horngeometrie ist hier so ausgelegt, dass eine deutlich größere Strahlbreite im Hochtonbereich erreicht wird und gleichzeitig erheblich höhere Maximalpegel erzielt werden können.

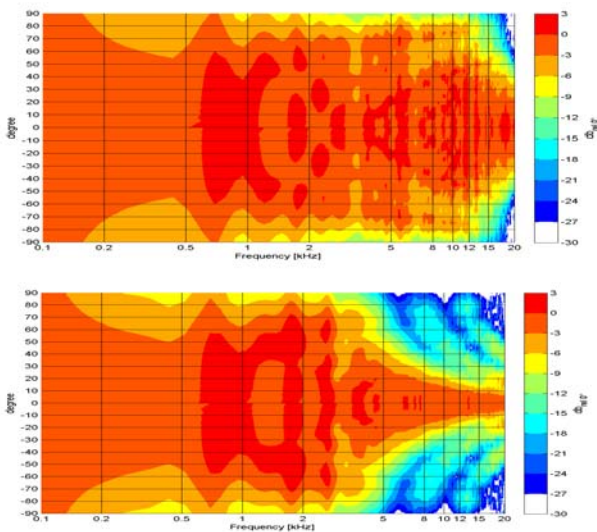


Abbildung 6: Simulierte horizontale Directivity eines Hornhochtöners (oben) und eines 3“-Breitbandchassis (unten)

Die für die Einzelwege simulierte Abstrahlung (Abbildung 6) zeigt deutlich, dass durch das Konzept mit dem Hornhochtöner eine deutliche Vergrößerung der horizontalen Strahlbreite erreicht werden kann.

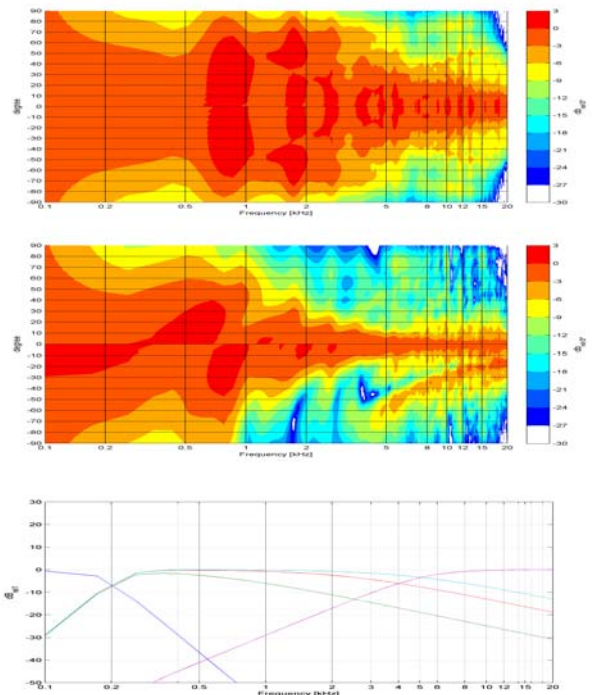


Abbildung 7: Simulierte horizontale (oben) und vertikale Directivity (mitte) eines Kanalzuges. Das zugehörige Filtersetup (unten) hat niedrigere Grenzfrequenzen bei den Breitbändern als das im H104 benutzte Setup und die Filterordnung ist hier nur 6dB pro Oktave, statt der 12dB im H104-Lautsprecher.

Durch die leicht geänderte Filterung und den zusätzlichen Hornhochtöner können die akustischen Eigenschaften des WFS-Lautsprechers in den angepeilten Punkten verbessert werden. Man erreicht mit der in Abbildung 5 simulierten Anordnung zusammen mit einer angepassten Filterung eine um 20° vergrößerte Horizontale Strahlbreite bis 12kHz. In der Vertikalen setzt die Nebenkeule erst bei 5kHz statt bei 3kHz ein. Weiterhin ist diese zudem geringer im Pegel und belegt auch nicht so einen großen Winkelbereich. Erhöhte Pegelanforderungen können mit einem Horntriebter einschließlich Horn auch problemloser als mit einem Breitbandchassis umgesetzt werden.

### Fazit

Das hier gezeigte und untersuchte erweiterte Konzept ist nur eines von mehreren in Frage kommenden. Mit Hilfe moderner Simulationstechniken können solche Konzeptstudien nicht nur deutlich schneller als durch Messung an realen Prototypen sondern auch kostengünstiger durchgeführt werden. Der Gewinn ist um so größer, je komplexer und vielfältiger die eingesetzten Geometrien sind.

Bei konsequentem Einsatz aller verfügbaren Simulationstechniken ist das Prototyping nur der letzte Schritt in der Entwicklung eines neuen Konzepts und dient lediglich als finale Verifikation der Simulationen.