

# Planung von WFS-Systemen am Beispiel der Wellenfeldsyntheseanlage der TU Berlin

Christoph Moldrzyk<sup>1</sup>, Anselm Goertz<sup>2</sup>, Michael Makarski<sup>3</sup>

<sup>1</sup> VISAURAL Berlin; [aural@prz.tu-berlin.de](mailto:aural@prz.tu-berlin.de)

<sup>2</sup> Audio & Acoustics Consulting Aachen; [anselm.goertz@t-online.de](mailto:anselm.goertz@t-online.de)

<sup>3</sup> Audio & Acoustics Consulting Aachen; [mckarski@web.de](mailto:mckarski@web.de)

## Einleitung

Die Errichtung einer Wellenfeldsyntheseanlage im viertgrößten Hörsaal der TU Berlin mit einem Raumvolumen von ca. 3.200 m<sup>3</sup>, 644 zu den hinteren Reihen um 5 m ansteigenden Sitzplätzen und  $T_{20}=0,95$  s in den Jahren 2006/2007 zeigte die Schwierigkeiten der Planung von WFS-Systemen dieser Größenordnung auf. Es sind - nicht nur für einen Raum dieser Größenordnung sondern allgemein - bis dato quasi keine Werkzeuge zur eigentlichen Planung und zur nachfolgenden Verifikation der Planungsergebnisse existent. Dies erlaubt dem Planer im Gegensatz zur Planung konventioneller Beschallungsanlagen keinen Einsatz erprobter Simulationssoftware und verhindert die gerade bei Systemen hoher Komplexität notwendige Folgenabschätzung. Diese wird umso wichtiger, wenn keine Idealsysteme (durchgängig horizontale Installationsebene der Lautsprecher, reflexionsarmer Raum) sondern, wie im vorliegenden Fall, Systeme für Mehrzweckräume mit vom Idealfall abweichend vorgegebener räumlicher und akustischer Konstitution oder Zielsetzung (bei Neuplanung) zu planen sind.

## Planungsvoraussetzungen

Zur Planung von WFS-Systemen ist es notwendig, genauestens den Einsatzzweck zu definieren. Hieraus ergeben sich Dimensionierung und Kostenansatz von Planung, Bau und Technik. Diese vorherige Definition des Einsatzzweckes ist besonders bei Mehrzwecksälen wie dem Hörsaal H 104 der TU Berlin notwendig, da in einem solchen Fall das WFS-System mit den anderen Nutzungsarten des Raumes konkurriert. Im konkreten Beispiel wurde mit der durch den Einbau des WFS-Systems unabdingbaren Vorgabe der für Hörsaalnutzung kurzen Nachhallzeit erst die grundlegende akustische Voraussetzung für die Funktion des WFS-Systems geschaffen [1]. Als mit der Raumgröße wie dem geplanten Einsatzzweck verbundene Planungsvorgaben sind außer der Raumakustik weitere wichtige Voraussetzungen zu beachten, hierunter fallen insbesondere ästhetische Kriterien: Gegenstand der konkreten Planung sind desweiteren Akustik (Einbausituation, Beschallungsanlage), technische Komponenten (WFS-Lautsprechersystem, Distributionsnetzwerke für WFS-Komponenten und Audio, HPTC/GC-Komponenten), Softwaredesign und Anbindung an Medientechnik.

## Planungswerkzeuge

Zur Planung der Raumakustik steht verifizierte Simulations- und Auralisationssoftware zur Verfügung. Dies gilt auch für die Planung herkömmlicher Beschallungsanlagen, nicht jedoch für die akustische Planung eines WFS-Systems. Hier können nur Teilbereiche, wie z. B. die Lautsprechersysteme selbst (Treiber, Weiche und Abstrahlverhalten [2][3]) sowie erzielbare Pegel im Raum mit Hilfe von Simulationssoftware berechnet werden. In Hinblick auf die akustische Funktion als WFS-System ist der Planer bislang ohne Unterstützung durch geeignete Software, die die Funktion der Wellenfeldsynthese in Kombination mit der Raumakustik simulieren oder auralisieren ließe. Im Bereich der Netzwerktechnik existieren bewährte Werkzeuge zur Planung. Die Distribution der Audiosignale findet im vorliegenden Fall über vielfach in der Studientechnik eingesetzte Hardware statt und ist in der verwendeten Dimension einfach zu planen. Das Rechnerdesign läßt sich aufgrund von Lastszenarien der Faltungsprozesse gut entwickeln, zudem sind bereits gegenwärtig existierende Mehrprozessorsysteme für Anlagen dieser Größenordnung (832 Kanäle) selbst im Echtzeitbetrieb mit geringer Latenz geeignet (im wesentlichen abhängig von der Zahl der gleichzeitig darstellbaren Quellen). Als WFS-Software wurde die an der TU Berlin entwickelte, unter GPL Lizenz veröffentlichte Software sWONDER für den Betrieb auf dem Rechnercluster optimiert, die Schnittstellen sind zwecks Austausch von Aufführungsmaterial zwischen WFS-Systembetreibern dokumentiert.

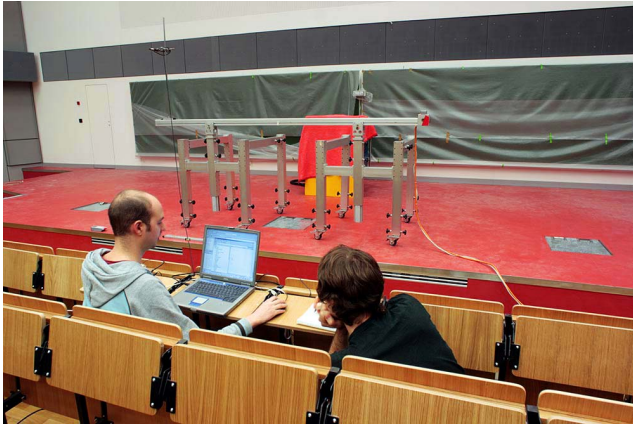
Das Hauptproblem der Planung eines WFS-Systems besteht in der Unsicherheit über die Qualität der Funktion des Systems und dessen Interaktion mit dem Raum.

## Kontrollmessungen

Bisher einziges Mittel zur (nachträglichen) Überprüfung der Funktion eines Wellenfeldsynthesystems ist die Messung während des Betriebs durch Mikrofonarraytechnik. An der TU Delft ist hierzu ein Verfahren entwickelt worden, das auch zur Überprüfung der Funktion des WFS-Systems in dem Hörsaal H 104 zum Einsatz kam. Durch diese Überprüfung wurden einige temporär defekte Lautsprechereinheiten identifiziert, es konnten die Auswirkungen solcher Defizite gemessen und der akustische Einfluß z. B. der Leinwand quantifiziert und verifiziert werden.

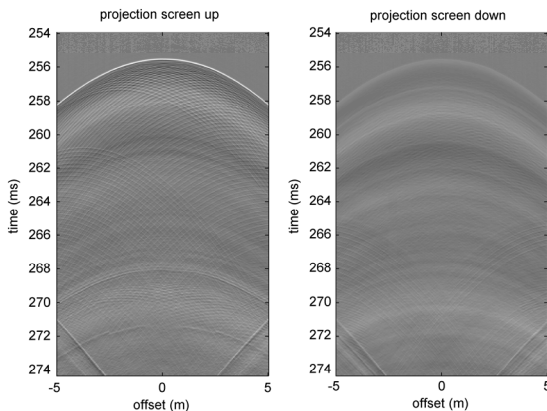


Abbildung 1 Bühnenbereich fertiger Hörsaal H 104 der TU Berlin mit umlaufendem WFS-Lautsprecherarray



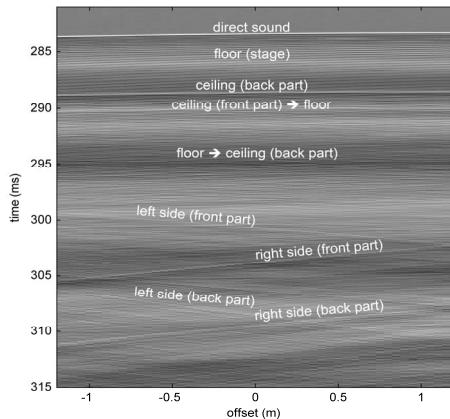
**Abbildung 2** Messung mit Mikrofonarray auf der Bühne

Da der Einfluß bestimmter Störgrößen (z. B. der Leinwand) bisher gar nicht bzw. nicht hinreichend genau simuliert werden kann, ist die Messung am fertigen Objekt zur Zeit das einzige probate Mittel zur Prognose der Qualität und Quantität der Auswirkungen. Abbildung 3 zeigt, warum für den Planer bereits bei der Bestimmung der Rahmenbedingungen eine belastbare Prognose über den Einfluß derartiger Komponenten wichtig werden kann:



**Abbildung 3** Impulsantworten einer virtuellen mittigen Punktquelle im Vergleich ohne (links) und mit (rechts) herabgelassene Leinwand (Abb.: TU Delft/Diemer de Vries)

Selbst die Interaktion mit der Raumakustik im hinteren Bereich des Saales ist mit dieser Meßtechnik gut darzustellen:



**Abbildung 4** Orts-Zeit-Darstellung der Messung des Schallfeldes einer virtuellen mittigen Punktquelle durch ein Mikrofonarray (Abb.: TU Delft/Diemer de Vries)

## Optimierungsmöglichkeiten

Bisher existiert kein verifiziertes WFS-Simulationswerkzeug. Die Entwicklung einer entsprechenden Simulationssoftware ist also vordringliches Ziel zur kontrollierten Planung von WFS-Systemen. Erste Ansätze hierzu siehe [4]. Eine solche Software sollte auch die Eingabe beliebiger Geometrien der WFS-Systeme erlauben (abweichend von idealen Horizontalanordnungen der Lautsprechersysteme). Ebenso sollten konventionelle Beschallungsanlagen in die Berechnung mit einbezogen werden können, um den Einsatz von WFS-Systemen auch im Live-Mischbetrieb zu ermöglichen. Die Möglichkeit zur binauralen Auralisation sollte zur Verifikation der Simulationsergebnisse und Erleichterung des Planungsprozesses integriert werden. Damit wäre auch ein Vergleich zwischen auralisierter Planung und binauralen Messungen im Raum mit Betrieb des WFS-Systems möglich [5].

## Fazit

Die Planung eines WFS-Systems ist in vielen Details mit bereits existierenden Werkzeugen möglich. Der Planungsprozeß wird jedoch durch die fehlende Möglichkeit zur Simulation des Verhaltens der eigentlichen Wellenfeldsyntheseanlage und deren Interaktion mit dem Raum an einem entscheidenden Punkt empfindlich unterbrochen.

Somit wird die Erfolgskontrolle der Funktion mittels Verifikationswerkzeugen umso wichtiger. Das im H 104 verwendete Verfahren der TU Delft zur Messung mittels Mikrofonarray hat sich als geeignetes Verfahren erwiesen. Für eine Erfolgskontrolle in Form eines Meßprotokolls fehlt jedoch momentan jegliche Standardisierung der Meßergebnisse. Nach Einmessung des WFS-Systems [6] ist zudem unbedingt eine laufende Kontrolle des Betriebszustandes in Form einer automatischen Meßeinrichtung der Lautsprechersysteme vorzusehen, um die einmal dokumentierte Funktionsfähigkeit des WFS-Systems zu erhalten.

## Literaturhinweise

- [1] Behrens, T., Ahnert, W., Moldrzyk, C. (2007) *Raumakustische Konzeption von Wiedergaberräumen für Wellenfeldsynthese am Beispiel eines Hörsaals der TU Berlin*. Stuttgart, Fortschritte der Akustik, DAGA Tagungsband 2007.
- [2] Goertz, A., Makarski, M., Moldrzyk, C., Weinzierl, S. (2007). *Entwicklung eines achtkanaligen Lautsprechermoduls für die Wellenfeldsynthese*. Stuttgart, Fortschritte der Akustik, DAGA Tagungsband 2007.
- [3] 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.
- [4] Petrasch, S., Spors, S., Rabenstein, R. (2005). *Simulation and Visualization of Room Compensation for Wave Field Synthesis with the Functional Transformation Method*. Audio Engineering Society (AES) 119th Convention, New York, Oct. 2005
- [5] Moldrzyk, C., Goertz, A., Makarski, M., Feistel, S., Ahnert, W., Weinzierl, S. (2007). *Wellenfeldsynthese für einen großen Hörsaal*. Fortschritte der Akustik, DAGA Tagungsband 2007.
- [6] Goertz, A., Makarski, M., Moldrzyk, C. (2008). *Messungen an Lautsprecheranlagen für die Wellenfeldsynthese*. Dresden, Fortschritte der Akustik, DAGA 2008.