

Raumakustische Konzeption von Wiedergaberräumen für Wellenfeldsynthese am Beispiel eines Hörsaals der TU Berlin

Tobias Behrens¹, Wolfgang Ahnert¹, Christoph Moldrzyk²

¹ ADA Acoustic Design Ahnert, Berlin, Deutschland, Email: tbehrens@ada-acousticdesign.de

² Visaural, Berlin, Deutschland, Email: aural@prz.tu-berlin.de

Einleitung

Im Rahmen der Neugestaltung eines bestehenden Universitäts-Hörsaals (Hörsaal H104, TU Berlin) wurde ein System zur Wellenfeld-Synthese (WFS) implementiert. Der Hörsaal erhielt daneben eine zeitgemäße Ausstattung bezüglich haustechnischer und multimedialer Systeme sowie ein neues architektonisches Erscheinungsbild.

Im Folgenden wird auf die raumakustische Auslegung des Hörsaals (der er auch nach der Neugestaltung im Sinne der Vorlesungsnutzung bleibt) als spezieller tontechnischer Wiedergaberaum für die WFS eingegangen.

Raumakustische Anforderungen

Bei der raumakustischen Auslegung des Raums waren die Belange für einen WFS-Wiedergaberaum zu vereinbaren mit denen eines ‚klassischen‘ Hörsaals. Neben der raumakustischen Störungsfreiheit (Unterbindung von Flatter- oder Rückwandechos) ist dabei die Nachhallzeit und Reflexionsführung zu diskutieren.

Bei Wiedergaberräumen für die WFS darf dem synthetisierten Schallfeld nicht störend die Hörsamkeit des physikalischen Raums aufgeprägt werden: Nachhall und Raumreflexionen dürfen die WFS nicht negativ beeinflussen. Bei wandintegrierter Lautsprecheranordnung (wie hier der Fall) muss daher der Raum akustisch geeignet zurücktreten. Die Anforderungen gestalten sich dabei ähnlich denen eines neuzeitlichen Kinos oder eines studioteknischen Raums. Das hieße im engeren Sinne:

- Soll-Nachhallzeit bei hier 3000 m³ Raumvolumen $T_{\text{soll}} = 0,65$ s (Orientierung an THX bzw. IRT)
- Unterdrückung raumprägender Reflexionen

Dagegen soll beim ‚klassischen‘ Hörsaal der physikalische Raum die Sprachübertragung und damit die Sprachverständlichkeit fördern. Dies hieße:

- Soll-Nachhallzeit bei hier 3000 m³ Raumvolumen $T_{\text{soll}} = 1,15$ s (DIN 18041, Sprache)
- Förderung sprachverständlichkeits-fördernder Reflexionen, also insbesondere lateraler und sonstiger früher Art

Im Sinne der Aufgabenstellung wurden nach Abwägung folgende Auslegungsmerkmale definiert:

- Soll-Nachhallzeit 0,95 s im 50% besetzten Zustand bei ausgeglichenem Frequenzverlauf. Dies stellt einen gangbaren Kompromiss zwischen den Nutzungsszenarien WFS und Hörsaal dar.

- Unterbindung raumprägender früher Reflexionen, da diese für WFS-Nutzung nachteiliger sind, als sie für Hörsaal-Nutzung (aufgrund der Raumgröße elektroakustisch gestützt) Vorteile bringt. Laterale Reflexionen werden dabei durch gezielt angeordnete Absorptionsflächen unterbunden, nachteilige Reflexionen an der Decke werden durch eine speziell ausgelegte Richtcharakteristik der WFS-Lautsprecher vermieden.

Raumakustische Gegebenheiten des Hörsaals vor dem Umbau

Die Nachhallzeit vor dem Umbau lag mit linear stark mit der Frequenz fallendem Verlauf bei Werten um 1,6 s für mittlere Frequenzen. Im zu 50% besetzten Zustand reduzierte sich die gemessene Nachhallzeit um etwa 0,2 s.

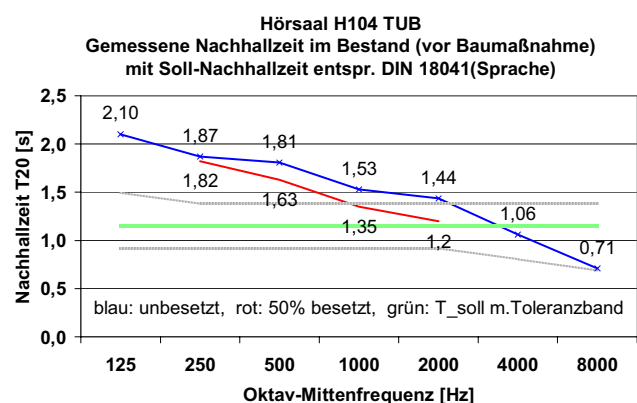


Abbildung 1: Gemessene Nachhallzeit vor dem Umbau im unbesetzten und zu 50% besetzten Zustand, mit Soll-Nachhallzeit gem. DIN 18041 und Toleranzband.

Als absorbierende Oberflächen waren im Bestand zu nennen:

- Gestäbe und porös absorbierend hinterlegte Rückwand
- Gelochte Klappsitz-Unterseiten (ohne poröse Hinterfüllung)
- Dünnes Rückenpolster (mit überwiegend zerfallenem Schaumstoff) bzw. sitzendes Publikum
- Schlitzfelder (teils für Lüftung) in der Decke

Durch geeignete Primärstruktur des Raums und hier entsprechend schallreflektierender Ausführung der Oberflächen resultierte eine sprachverständlichkeits-fördernde Schallführung durch Schaffung früher Reflexionen.

Raumakustische Maßnahmen der Neuplanung

Im Sinne der raumakustischen Auslegungs-Merkmale wurden folgende Maßnahmen baulich umgesetzt:

- Absorbierende Ausführung der Seitenwandflächen in der Höhe 0,9 m bis etwa 3 m über dem Boden zur Unterbindung lateraler Reflexionen sowie zusätzlicher deckenbündiger Flächen zur Nachhallregulierung
- Absorbierende Ausführung der Rückwand in der Höhe 0,9 m bis Deckenanschluss zur Unterbindung von Rückwürfen
- Absorbierende Ausführung eines mittigen Feldes in der Tafelwand zur Unterbindung weiterer Langzeitreflexionen und Schaffung eines Schallfeldes ohne ausgeprägten Richtungsbezug
- Aufarbeitung des Gestühls (gelochte Klappsitz-Unterseiten, Polsterfläche an Rücklehne)

Bei der Wandgestaltung kamen optisch einheitliche Streckmetall-Kassetten hoher Schalltransparenz zum Einsatz, die je nach akustischem Erfordernis breitbandig absorbierend (Einlage von porösem Absorptionsmaterial) oder reflektierend (zusätzliche Einlage einer hölzernen Platte) ausgeführt wurden. Letzteres geschah unter Beachtung des Plattenschwinger-Prinzips durch Anpassung der Plattenmasse an die Hohlraumtiefe mit dem Ziel einer Linearisierung des tieffrequenten Verlaufs der Nachhallzeit. Die Decke verblieb akustisch wie im Bestand.

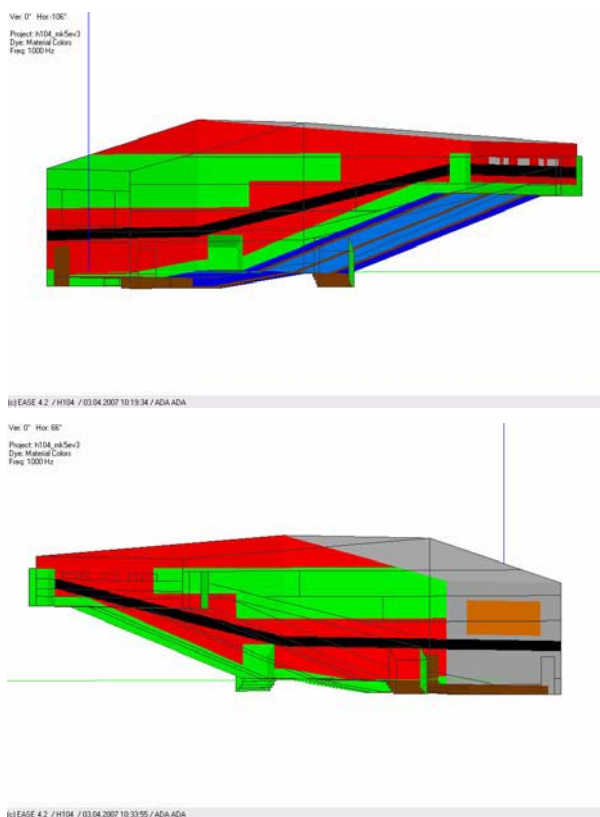


Abbildung 2: Simulationsmodell (EASE) des Hörsaales mit differenzierter Oberflächengestaltung. Rot/orange: absorbierend; grün/grau: reflektierend

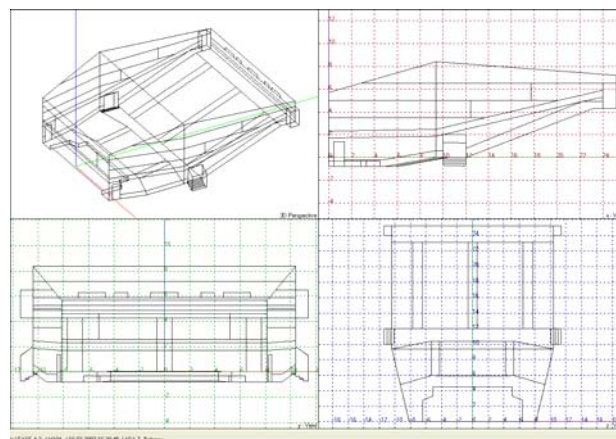


Abbildung 3: Simulationsmodell (EASE) des Hörsaales (Drahtgitteransicht)

Raumakustische Gegebenheiten nach Baufertigstellung

Die Nachhallzeit nach Fertigstellung der Umbaumaßnahmen wurde im unbesetzten Zustand gemessen. Sie liegt innerhalb des Toleranzbandes und schneidet den Soll-Wert 0,95 s bei 2000 Hz. Der relative Anstieg zu tiefen Frequenzen hin ist zielgerichtet deutlich kleiner als vor dem Umbau. Vergleichend ist für 50%-ige Besetzung der simulierte Nachhallzeitverlauf dargestellt. Hierbei reduziert sich die Nachhallzeit um nur noch etwa 0,1 s bei mittleren Frequenzen. Grund für die relativ geringe Verkleinerung (im Verhältnis vor Umbau) ist die nun deutlich stärkere Absorption des Gestühllehnenpolsters und das insgesamt höhere Absorptionsaufkommen im Saal.

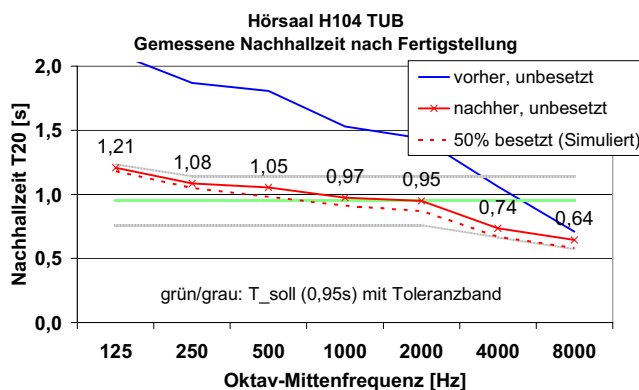


Abbildung 4: Gemessene Nachhallzeit im unbesetzten Zustand und simulierte Nachhallzeit bei 50%-iger Besetzung nach Fertigstellung der Umbaumaßnahmen mit Soll-Nachhallzeit und Toleranzband. Vergleichend ist die gemessene Nachhallzeit im unbesetzten Zustand vor der Umbaumaßnahme dargestellt

Literatur

- [1] A. Goertz, M. Makarski, C. Moldrzyk, S. Weinzierl: Entwicklung eines achtkanaligen Lautsprechermoduls für die Wellenfeldsynthese, DAGA 2007
- [2] A. Goertz, M. Makarski, S. Feistel, C. Moldrzyk, S. Weinzierl, W. Ahnert: Wellenfeldsynthese für einen großen Hörsaal, DAGA 2007