Neuartige variable Akustikelemente für musikalische Probenräume

Tobias Behrens[a], Björn Knöfel[b] und Hartmut Schirmer[c]

[a]ADA - Acoustics & Media Consultants
[b]Fraunhofer Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU
[c]Schirmer GmbH Beratende Ingenieure
E-Mail: tbehrens@ada-amc.eu

Einleitung

Bei musikalisch genutzten Räumen, insbesondere Probenräumen, ist der Wunsch der Nutzer bekannt, die raumakustischen Gegebenheiten variabel gestalten zu können. Viele Nutzer wünschen sich nicht nur frequenzspezifische Anpassungen der Nachhallzeiten, sondern auch die akustische Auflösung bestimmter Reflexionsflächen [1].

Die am Markt vorhandenen Lösungen sind dabei technisch, akustisch wie auch gestalterisch nicht immer praktikabel. Daher sind insbesondere bezüglich des mechanischen Aufbaus neuartige variable Akustikelemente in Entwicklung. Erste kleinformatige Funktionsmuster der Entwicklung wurden im Impedanzrohr und in der Hallkabine bezüglich ihres Absorptionsverhaltens vermessen. Die Ergebnisse flossen in die Erstellung raumakustischer Konzepte zur Implementierung in zuvor akustisch vermessenen realen musikalischen Probenräumen ein und können mittels speziell aufgebautem Ambisonic-‚AcousticLab' auralisiert werden.

Konzeptentwicklung

Im Projekt SoundAdapt wird eine Oberflächenstruktur entwickelt, die akustisch variabel wirksam ist und damit gezielt an die Bedürfnisse unterschiedlicher Nutzergruppen angepasst werden kann. Erreicht wird dies, in dem sogenannte smart materials [2] Strukturelemente bewegen, wobei durch diese Lageänderung die akustisch wirksame Oberfläche der Elemente geräuschlos zwischen schallharter Reflexion und schallweicher Absorption verändert wird.

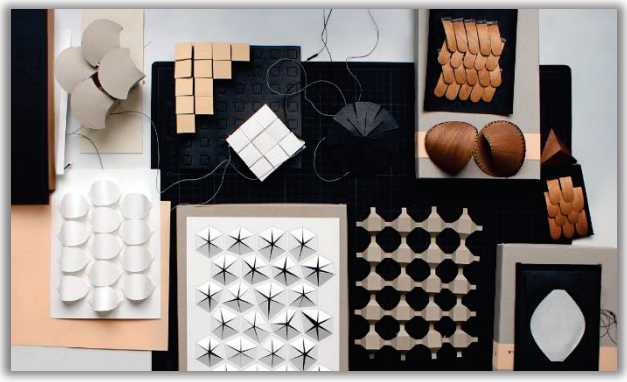

Abbildung 1: Designstudien an Materialien, die durch smart materials akustisch variabel wirken können. Bild: weißensee kunsthochschule berlin [3]

Von Anbeginn lag der Fokus nicht nur auf einer veränderlichen Akustik, sondern ebenso auf der Entwicklung eines in sich geschlossenen und hochwertigem gestalterisch-konstruktivem Gesamtsystems. Für dieses Projekt haben sich unterschiedliche Fachbereiche zusammengefunden: Materialforschung & Design, Akustik, Simulation & Auralisierung, Aktorik, Bühnentechnik und Elektronikansteuerung. In Abbildung 1 sind mehrere Konzeptstudien von Materialien und Formen abgebildet, die an der weißensee kunsthochschule berlin designtechnisch entwickelt wurden.

Nachdem die unterschiedlichsten Konzepte ästhetisch und akustisch beurteilt wurden, fiel schließlich die Auswahl auf eine sogenannte Rautenstruktur, wie sie in Abbildung 2 abgebildet ist.

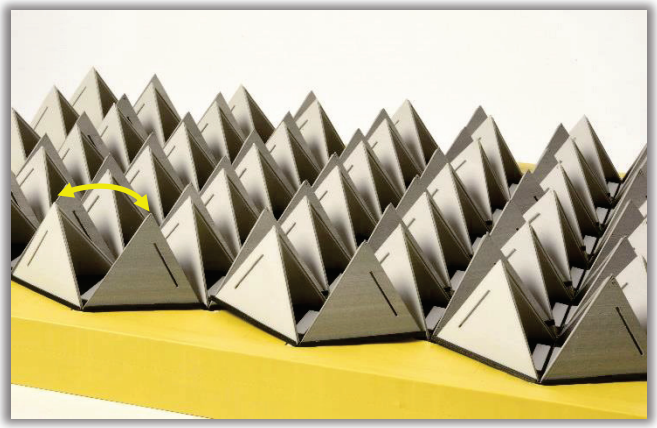

Abbildung 2: Akustisch variable Struktur, aufgebaut aus mehreren klappbaren sogenannten Rautenschnappern, die aus jeweils zwei Halbschalen gebildet werden. Der Pfeil zeigt die Bewegungsrichtung der Halbschalen an. Bild: weißensee kunsthochschule berlin

Die Grundstruktur wird dabei aus zwei rautenförmigen Halbschalen gebildet, die wahlweise geöffnet und geschlossen werden können. Im geöffneten Zustand, wie in Abbildung 2 dargestellt, reflektiert die Innenfläche der Rautenstruktur den auf sie eintreffenden Schall. Im geschlossenen Zustand entsteht hingegen ein Hohlraum, der akustisch als Resonanzsystem genutzt werden kann. Das Resonanzsystem entsteht, in dem der innere Hohlraum V über definierte Öffnungsschlitze S mit dem umgebenden Raum verbunden ist, was der Wirkungsweise eines allgemein bekannten Helmholtz-Resonators entspricht. Die akustische Masse ist dabei die Luft, die innerhalb der Schlitzwandung l_0 zwischen innerem Resonatorvolumen und äußerem Schallfeld oszilliert. Da die Wirkungsweise der Resonanzabsorption eines einzelnen Rautenschnappers nur gering ist, werden mehrere der Schnapper auf einer größeren Fläche nebeneinander angeordnet.

Damit die variable akustische Wirkung der Rautenschnapper nicht nur in einem sehr schmalen Frequenzbereich auftritt, werden diese außerdem mit einem Vlies bedämpft.

Zusätzlich ist bereits in der Planungsphase berücksichtigt, dass mehrere unterschiedlich große Volumina der Rautenschnapper zum Einsatz kommen. Damit kann nicht nur

ein breiterer Frequenzbereich akustisch variabel gestaltet werden, sondern es können auch bestimmte Reflexionsflächen an Wänden und Decken mit einem speziellen Absorptionsgradverlauf gezielt ausgekleidet und werden. Der Frequenzbereich, der variabel genutzt werden soll, lehnt sich dabei an die Instrumente an, die im klassischen Orchester üblicherweise zum Einsatz kommen [4]. Vorwiegend werden hier die Frequenzen von 250 Hz bis 1.500 Hz adressiert, wobei der Schwerpunkt auf dem mittleren Frequenzbereich liegt. Damit liegt der anvisierte Frequenzbereich der als Helmholtz-Resonatoren wirkenden Rautenschnapper deutlich höher als üblicherweise in der Raumakustik eingesetzt [5].

Die Strukturen werden schließlich über eine spezielle Technologie mit Formgedächtnislegierungen (FGL) verbunden, welche sich bei einer thermischen Aktivierung zusammenziehen und damit die Halbschalen geräuschlos schließen. Geöffnet werden die Strukturen über eine erneute Aktivierung der sogenannten FGL-Aktoren.

Messergebnisse

Die ersten Strukturvarianten der Rautenschnapper wurden bei senkrechtem Schalleinfall in einem Impedanzrohr (Kundt'sches Rohr mit Innendurchmesser d_i = 100mm) akustisch vermessen. Bei den Messungen im Impedanzrohr wurden unterschiedlichste Parameter variiert, wie z.B. das Resonanzvolumen V, die Schlitzform, die Schlitzgröße S, die Materialart, die Anzahl zusätzlicher innerer Absorption sowie andere geometrische Abmessungen.

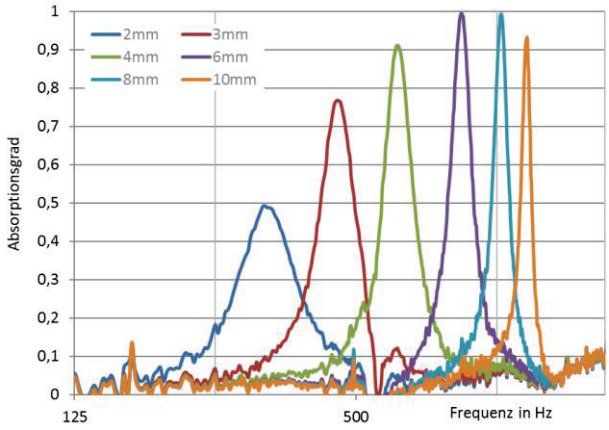

Abbildung 3: Rautenstruktur geschlossen, Absorptionsgradverläufe bei unterschiedlichen Öffnungsdurchmessern (d jeweils in mm)

Die Abbildung 3 zeigt für ein geschlossenes rautenförmiges Volumen den Einfluss unterschiedlich großen kreisförmigen Öffnungsflächen auf die Resonanzfrequenz. Mit steigender Öffnungsfläche erhöhen sich die Resonanzfrequenz und das Maximum des Absorptionsgrades. Gleichzeitig nimmt die Breite der frequenzselektiven Wirksamkeit ab, so dass in diesem Beispiel ab ca. 800 Hz zusätzliches Dämmmaterial zum Einsatz kommen sollte, damit der für die Absorption nutzbare Frequenzbereich wieder vergrößert wird.

Damit die akustische Wirksamkeit auch bei diffusem Schalleinfall beurteilt werden kann, erfolgte durch den Projektpartner Schirmer GmbH Beratende Ingenieure die Entwicklung und der Aufbau einer kleinen Hallkabine mit einem Volumen von ca. 0,4 m³.

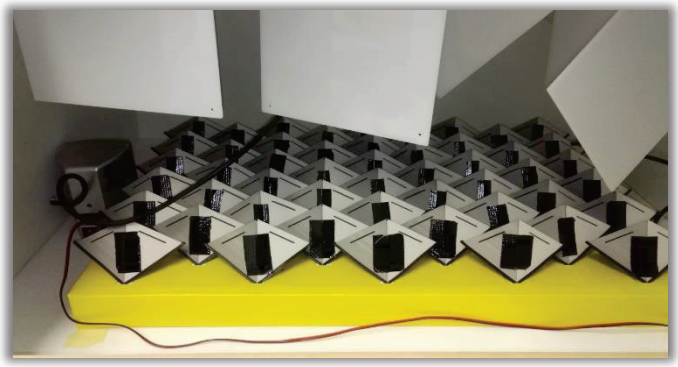

Abbildung 4: Messung der geschlossenen Rautenstruktur unter diffusem Schalleinfall in einer Hallkabine, rechteckiger Prototyp. Die Dichtungen wurden zusätzlich mit Montageband verschlossen.

Abbildung 4 zeigt einen Prototyp aus 50 Rautenschnappern, der, hier im geschlossenen Zustand, in der Hallkabine gemessen wurde. Kleine Platten, die von der Decke hängend in unterschiedliche Richtungen zeigen, sorgen für ein annähernd diffuses Schallfeld im Inneren der Hallkabine.

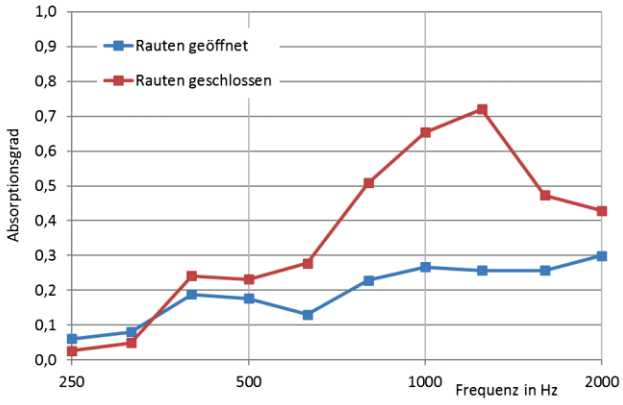

Abbildung 5: Absorptionsgradmessung in Hallkabine, nominale Resonanzfrequenz 1 kHz

Zwischen den beiden Zuständen „Rautenstruktur geöffnet" und „Rautenstruktur geschlossen" wird im Absorptionsmaximum ein Unterschied von fast 0,50 erreicht, wie bereits die Messergebnisse des ersten Prototypen in Abbildung 5 darlegen. Die Messungen prognostizieren das Absorptionsmaximum dabei leicht über der errechneten Resonanzfrequenz von 1 kHz. Weiterführende Untersuchungen mit unterschiedlichen Schlitzgeometrien und Dämpfungsvliesen sind derzeit Gegenstand vertiefter Messreihen.

Raumakustische Simulation und Auralisierung

Die Ergebnisse zunächst der Impedanzrohr- und dann auch der Hallkabinen-Messungen flossen beim Projektpartner ADA - Acoustics & Media Consultants in die Erstellung raumakustischer Konzepte zur Implementierung in zuvor akustisch vermessenen realen musikalischen Probenräumen ein und können mittels speziell aufgebautem Ambisonic-basierten [6] ‚Acoustic-Lab' auralisiert, also hörbar gemacht werden. Sinn dabei ist, die akustische Wirksamkeit der spezifisch absorbierenden veränderlichen Oberflächenstrukturen in per Simulation nachgebildeten realen Räumen zu demonstrieren und subjektiv zu testen, wobei hier nicht nur

Nachhalleigenschaften der Räume, sondern auch Beeinflussungen des wahrgenommenen Klangbildes durch Veränderung diskreter Reflexionen von Bedeutung sind.

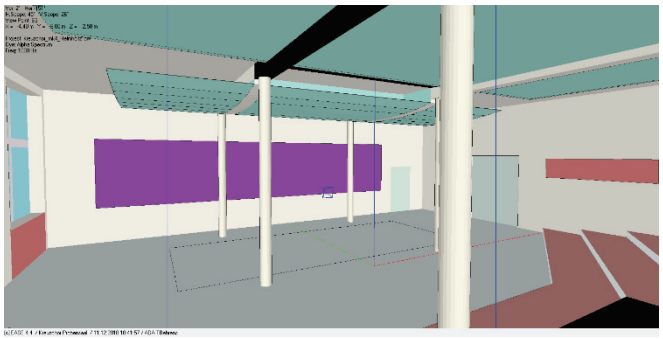

Abbildung 6: Gerenderte Ansicht im EASE-Modell des Dresdner Kreuzchor-Probensaals mit einer 20 m² großen adaptiven Oberflächenstruktur (violett markiert) an der Stirnwand.

Zur Auralisierung werden nun B-Format-Files in EASE im entsprechenden aufbereiteten Modell generiert und mit einem Ambisonic-Decoder 13 physischen Lautsprecherkanäle konvertiert [7], wobei die Geometrie des realen Lautsprecheraufbaus (siehe Abb. 8) im Processing implementiert ist.

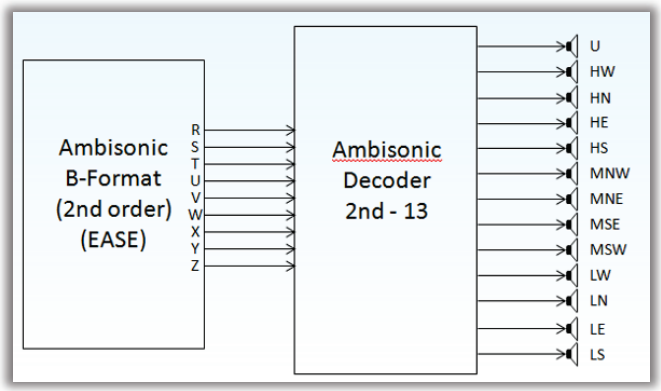

Abbildung 7: Konvertierung der 9 B-Format EASE-Files in 13 physische Lautsprechersignale

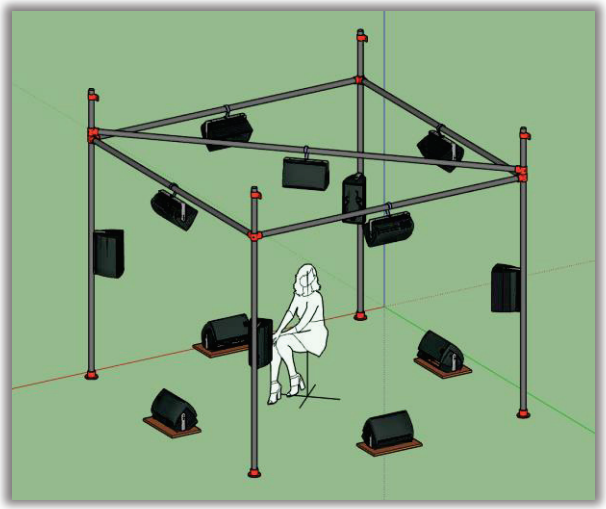

Abbildung 8: CAD-Darstellung der 13-kanaligen Wiedergabe-Einrichtung

In diesem Ambisonic - ‚Acoustic-Lab'(siehe Abb. 9) können nun Auralisationen verschiedenster Räume und Situationen zur Demonstration und Untersuchung durchgeführt werden.

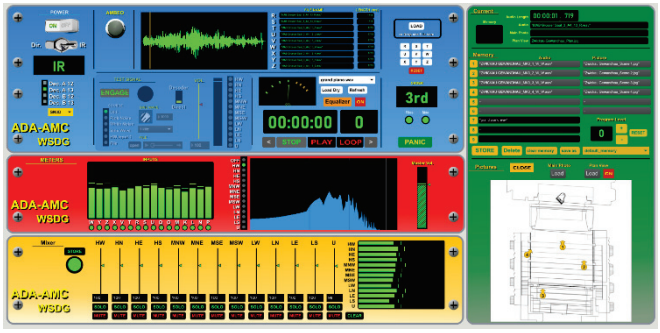

Abbildung 9: GUI des Ambisonic – basierten ‚Acoustic-Lab'

Abbildung 10: Foto des raumakustisch neutralen (stark bedämpften) Auralisationsplatzes, dem ‚Acoustic-Lab'

Modulwand

Nach den erfolgreichen Messungen eines einzelnen Rautenschnappers im Impedanzrohr sowie den Hallkabinen-Messungen eines Prototypen mit 50 Rautenschnappern erfolgt derzeit durch ein Unternehmen im Bereich Bühnentechnik die Konstruktion und der Aufbau einer Modulwand mit einer akustisch wirksamen Fläche von 2 m². Die Abbildung 11 zeigt eine Anordnungsvariante der Modulwand, auf der unterschiedliche Strukturvolumina für eine breitbandige variable Absorption platziert sind.

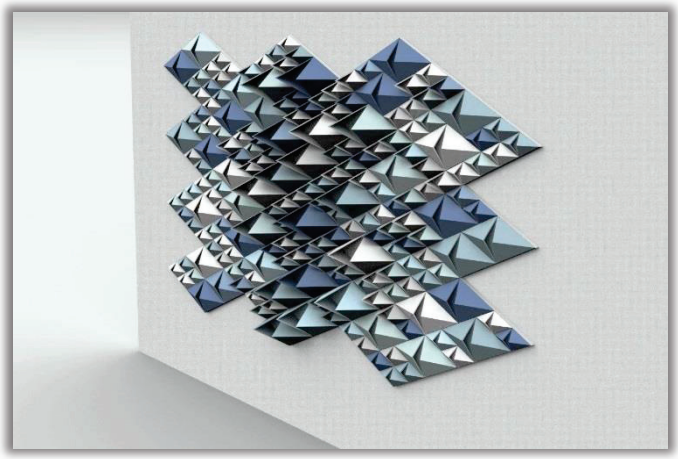

Abbildung 11: Modulwand mit akustisch variablen Strukturelementen. Bild: weißensee kunsthochschule berlin

Da die Fläche der Wand noch nicht an die notwendigen 10 – 12 m² für eine nach ISO 354 normgerechte Absorptionsgradmessung im Hallraum heranreicht, sind weiterführende Testmessungen in einer speziellen kleineren Hallkammer geplant.

Sobald diese Messungen akustisch erfolgreich verlaufen, wird die Modulwand in kleinen Proberäumen testweise zum Einsatz kommen.

Zusammenfassung

Die vorgestellten rautenförmigen Strukturelemente verbinden die Fachgebiete Flächendesign, neuartige Motoriken und variable Raumakustik. Es konnte gezeigt werden, dass eine variable Akustik durch die Nutzung geräuschloser Formgedächtnisaktoren prinzipiell möglich ist. Sowohl unter ebenen, als auch unter diffusem Schalleinfall verliefen die ersten Testmessungen erfolgreich. Der Aufbau einer Modulwand steht unmittelbar bevor.

Das Projekt SoundAdapt wird fortgeführt, in dem sowohl ergänzende akustisch variabel nutzbare Wirkprinzipien untersucht werden, als auch innovative Bedienkonzepte zur einfachen akustischen Raumsteuerung integriert werden.

Mittlerweile haben die Projektpartner die Technologie zum Patent angemeldet. Eine eigene Verwertung ist in naher Zukunft ebenso denkbar, wie die gemeinsame Vermarktung mit Unternehmen aus den Branchen Akustik, Design und Innenarchitektur.

Danksagung

Die Gestaltung und Herstellung der variablen Oberflächenstrukturen, insbesondere der bei den Messungen zum Einsatz kommenden Rautenschnappern und anderen Strukturen mit FGL-Aktorik lag ganz wesentlich in der Hand von Paula van Brummelen, weißensee kunsthochschule berlin, Bereich Experimentelle Materialforschung.

Förderung

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wird dankenswerterweise mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) unter dem Förderkennzeichen 03ZZ1020J gefördert.

Literatur

[1] Knöfel, B.; Gnauck, M.; Kunze, H.: Variable Raumakustik in musikalischen Probenräumen? In: Fortschritte der Akustik / DAGA 2018, Deutsche Gesellschaft für Akustik e.V., Berlin, S. 1743 – 1746

[2] Schirmer, W. (Hrsg.): Technischer Lärmschutz. 2. Auflage, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2006, Kapitel 14 Adaptronik-Anwendungen

[3] SoundAdapt - Traum aller Musiker. In: merlin 3 | 2019, S. 13 https://www.smarthoch3.de/fileadmin/merlin_3/Merlin_3_2019_web.pdf

[4] Quiring, R.; Weinzierl, S.: Tonhöhenverteilungen im klassischen Orchesterrepertoire. In: Fortschritte der Akustik / DAGA 2016, Deutsche Gesellschaft für Akustik e.V., Berlin, S. 1486 – 1489

[5] Fasold, W.; Veres, E.: Schallschutz und Raumakustik in der Praxis. Verlag für Bauwesen, Berlin, 1998

[6] Zotter, F.; Frank, M.: Ambisonics - A Practical 3D Audio Theory for Recording, Studio Production, Sound Reinforcement, and Virtual Reality; Springer Topics in Signal Processing, Volume 19, 2019

[7] Behrens, T.; Wazaefi, K.; Ahnert, W.: New tools to auralize simulation results with EASE 5.0, at the 177th Meeting of the Acoustical Society of America, Louisville 2019