Softwaregestützte Entwicklung von Gestaltungskonzepten für Musikübungsräume

Irina Oshkai[1], Susanne Schwickert[2], Malte Kob[3]

[1] *Hochschule Ostwestfalen-Lippe, 32756 Detmold, E-Mail: irina.oshkai@th-owl.de*
[2] *Hochschule Ostwestfalen-Lippe, 32756 Detmold, E-Mail: susanne.schwickert@th-owl.de*
[3] *Hochschule für Musik Detmold, 32756 Detmold, Email: kob@hfm-detmold.de*

Einleitung

Der Übungsraum stellt für Kinder und Jugendliche, die über 4 Stunden täglich musizieren, ein Werkzeug zum erfolgreichen Lernen und Üben musikalischer Inhalte und Interpretation dar. Er ist somit ein wesentlicher Einflussfaktor für die Persönlichkeitsbildung der begabten Jungstudierenden. Das besondere Augenmerk bei der Gestaltung kleiner Übungsräume richtet sich auf das Zusammenspiel von Raumakustik und Architektur, das ermöglicht, Üben zu einem Ereignis für Kinder zu machen.

Analyse von Bestandsübungsräumen

Abbildung 1: Musikübungsräume R1 (links) im Neubau, R2 (rechts) im Gebäude aus den 60er Jahren.

Tabelle 1: weitere Ergebnisse der akustischen Untersuchung

	Raum 1	Raum 2
Raumseitenverhältnis L:B:H	1:2:1,26	1,76:1,75:1
Dröhngefahr	153Hz	72,5Hz,
Schröderfrequenz	272 Hz	192 Hz

Für die Studie wurden Übungsräume verschiedener Baugeometrie und Innengestaltung ausgesucht (Abb.1), um einen Überblick über die Zusammenhänge der räumlichen und akustischen Parameter zu erreichen. Der erste zu Analyse gezogene Raum (R1, 10,5m²) befindet sich in einem Neubau, der zweite (R2, 17m²) in einem Gebäude aus den 60er Jahren. R1 verfügt über glatt verputzte abgewinkelte Trockenbauwände, Filzteppich und zwei zusätzlichen Wand- und Deckenabsorber. Die orthogonal angeordneten Trennwände in R2 stellen eine Trockenbaukonstruktion mit Raufasertapeten dar. Der Stäbchenparkettboden ist in der Mitte mit einem Teppich bedeckt. Der Hauptabsorber in R2 ist eine Kassettendecke. In Tabelle 1 sind die weiteren Ergebnisse der Untersuchung zusammengefasst.
Da die Anzahl an Studierenden, die im Neu- und Altbau geübt haben, stark voneinander abweicht, wurde eine Befragung durchgeführt. Die Kernaussage der Befragten lautete: „Die Akustik im Altbau ist viel besser“. Die im Folgenden betrachteten Anforderungen für akustische Qualitätskriterien fußen sowohl auf Messergebnissen des zweiten Raumes als auch auf relevanten Literaturquellen.

Nachhallzeitmessung

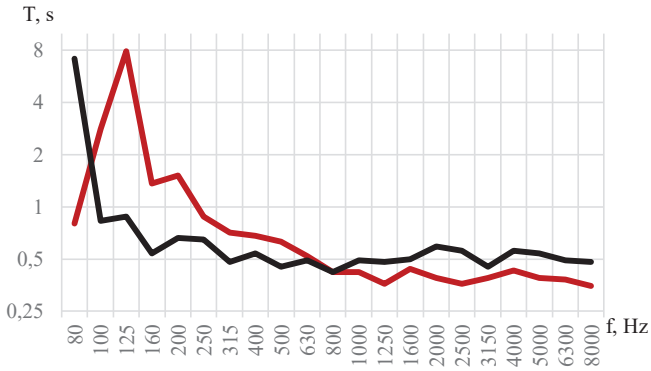

Abbildung 2: Auszug aus den Ergebnissen der Nachhallzeitmessung. R1 ——— R2 ———

Nach [1] sollte die Nachhallzeit für R2 mit dem Raumvolumen von 50m³ zwischen 0,4s und 1,4s liegen, dabei wird die leichte Ansteigung der Nachhallzeit in den tiefen Frequenzen als vorteilhaft bezeichnet. Aus Abb. 2 ist ersichtlich, dass R2 schon ab 160Hz die gestellten Anforderungen erfüllt. Es sind ebenso die im Vorfeld ermittelten Frequenzen mit Dröhngefahr ablesbar. Der tatsächliche Toleranzbereich der Nachhallzeit für R2 liegt somit zwischen 53% und 108%.

Messung weiterer akustischer Qualitätskriterien

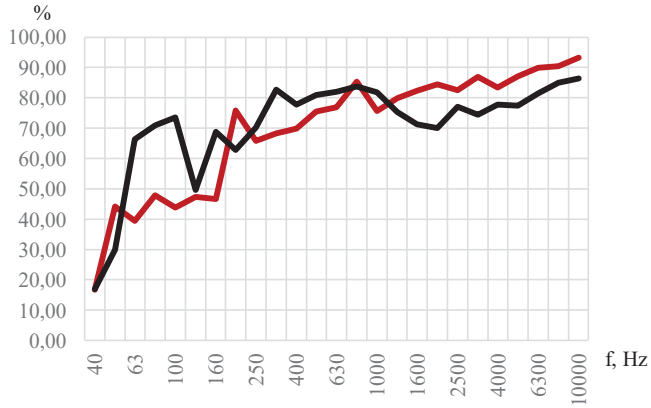

Abbildung 3: Deutlichkeitsgrad D50, R1 ——— R2 ———

Die weiteren akustischen Qualitätskriterien wie Deutlichkeitsgrad, Klarheitsmaß und Schwerpunktzeit wurden mit Hilfe einer gemessenen Raumimpulsantwort ermittelt. Diese Kriterien erschienen für die kleinen Übungszellen relevant, da festgestellt werden sollte, ob man einzeln gespielte Noten voneinander unterscheiden kann und ob man aufeinander folgende Töne und gleichzeitig gespielte Klänge erkennt.

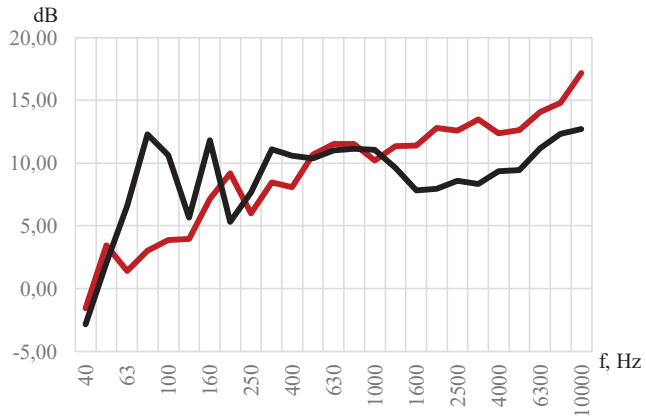

Abbildung 4: Klarheitsmaß C80, R1 R2

Außerdem sollte die tatsächliche Schallwirkung im Raum beschrieben werden. Die optimalen Toleranzbereiche für Deutlichkeitsgrad, Klarheitsmaß und Schwerpunktzeit wurden für den Entwurf der neuen Übungsräume nach [2] und unter der Berücksichtigung der Messergebnisse des R2 formuliert.

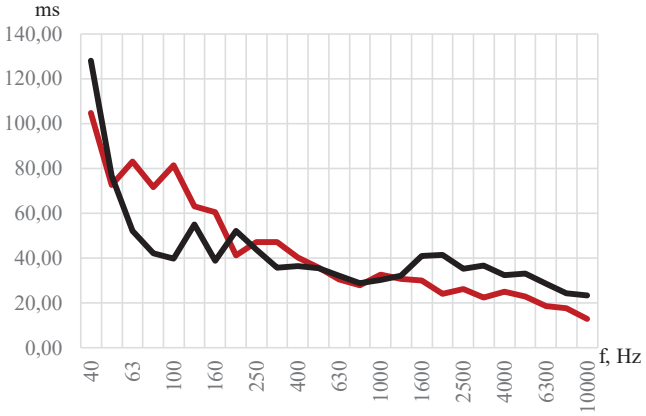

Abbildung 5: Schwerpunktzeit Ts, R1 R2

Folgerung

- Die hellen Oberflächenfarben und großzügige Fensterfronten vergrößern optisch bzw. erweitern die Räume
- Die stehenden Wellen und somit die Dröhngefahr kann auf zwei grundsätzlich unterschiedlichen Wegen verhindert werden: Schrägstellung der Wände oder Anordnung mehrerer größerer Objekte im Raum, die Schallwelle beugen bzw. brechen wie z.B. im R2 Flügel, ein 60cm tiefer Schrank etc.
- Die Schrägstellung der Wände verlangt nach anspruchsvolleren Architekturlösungen bei der Grundrissgestaltung, ermöglich aber gleichzeitig das Schaffen einer klaren Geometrie im Raum selbst.
- Die abgewinkelten Wände der Übungsräume können mit Hilfe des einheitlichen Bodenbelags retuschiert werden.
- Das Raumvolumen in der Größenordnung von R2 (50m³) wird als notwendig erachtet, um die Anforderungen an die Raumakustik zu erfüllen.
- Vollflächige breitbändige Absorber erweisen sich für kleine Übungsräume als vorteilhafter gegenüber mehreren Einzelabsorbern.
- Die Nachhallzeit für die neu entworfenen Räume mit dem Volumen von ca.45m³ soll zwischen 0,38s und 0,88s liegen.
- Der Deutlichkeitsgrad darf 50% nicht unterschreiten. Das Klarheitsmaß soll im Bereich zwischen 5dB und 20dB liegen. Die Schwerpunktzeit soll unterhalb 70ms bleiben.

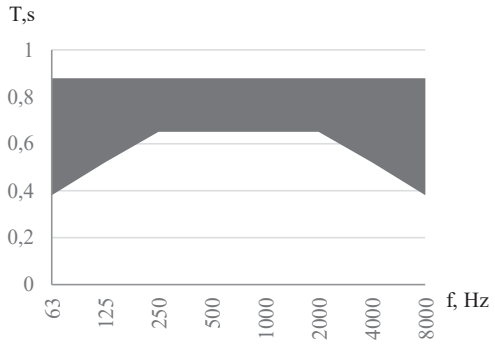

Abbildung 6: neu definierter Toleranzbereich der Nachhallzeit für V=45m³

Richtcharakteristik der Musikinstrumente

Nachdem die Erkenntnisse aus der Literatur und Analyse der Bestandsübungsräume gegenübergestellt und kombiniert wurden, sollte als Nächstes der Sender, das Musikinstrument, näher betrachtet werden. In Abb. 7-9 sind die Polardiagramme von drei untersuchten Musikinstrumenten dargestellt. Die Kreissegmente um die Polardiagramme herum heben die Richtungen der maximalen Schallstrahlung hervor. Die Daten für die Richtcharakteristiken wurden [3],[4] entnommen. In der Abb. 7 ist erkennbar, dass die nach hinten rechts abgestrahlte Energie stets größer als die in andere Richtungen ist. Bei den meisten Frequenzen liegt das Gebiet der starken Schallabstrahlung links und schräg nach oben orientiert. Aus diesem Grund sollten die Oberflächen, an die der meiste Schall geworfen wird, die Schallenergie gleichmäßig im Raum verteilen können. Die Schallabstrahlung der Geige ist viel gleichmäßiger (Abb. 8), weswegen der Fokus in diesem Raum besonders auf das Abstimmen der einzelnen Oberflächen aufeinander hinsichtlich der Schallabsorption gerichtet wird. Die Gitarre strahlt ihre Energie weniger gleichmäßig ab als die Geige jedoch nicht so klar gerichtet wie das Horn (Abb. 9). Dies führt dazu, dass die Raumoberfläche, rechts vom Spielenden aus gesehen, einen breitbandigen Absorber beinhalten soll.

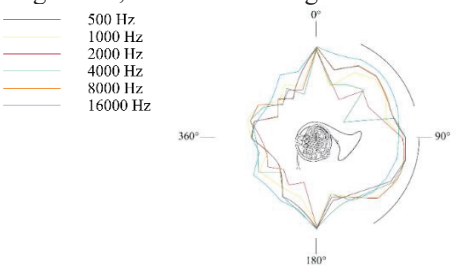

Abbildung 7: Richtcharakteristiken des Horns

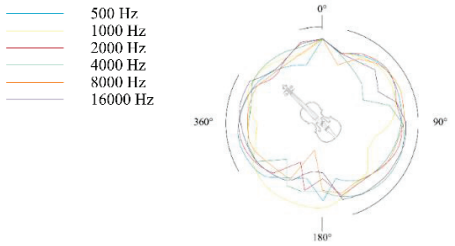

Abbildung 8: Richtcharakteristiken der Geige

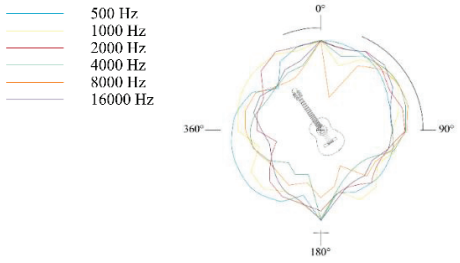

Abbildung 9: Richtcharakteristiken der Gitarre

Die Richtcharakteristik der dargestellten Musikinstrumente und der Sender- und Empfängerpositionen wurden bei der raumakustischen Simulation mit dem Software CATT-Acoustic berücksichtigt.

Entwurf

Übungsraum Geige

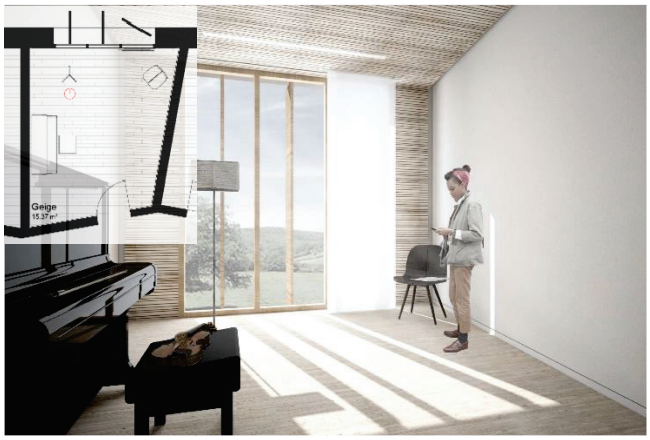

Abbildung 10: Innenperspektive und Grundriss mit Position des Spielers (roter Kreis) – Übungsraum Geige

In dem Übungsraum Geige (Abb. 10) soll der Eindruck geschaffen werden, dass Decke, Wand vorne und Fußboden eine Einheit bilden. Sie umklammern den Raum und lassen ihn dank der hellen Gipskartonwände optisch breiter erscheinen. Die Raumabmessungen der drei Übungsräume sind gleich und betragen L:B:H = 4,35 : 3,48 : 2,9m, was zu einem optimierten Raumseitenverhältnis von 1,5:1,2:1,0 führt. Für die flexible Akustik sind in allen Räumen die akustisch wirksamen Vorhänge verantwortlich. Den breitbandigen Hauptabsorber stellt in diesem Raum die Holzlamellendecke (3S-62, nat-6) dar, die 150mm von den massiven Bauteilen abgehängt werden soll. Die Absorptionswerte der Decke sind für diesen Raum besonders geeignet, da sie geringe Differenzen zwischen tiefen und hohen Frequenzen aufweisen. Die Verkleidung der Wand vorne passt sich der Deckengestaltung an und ist ausschließlich zur Dekoration da. Die gestellten Anforderungen an raumakustische Qualitätskriterien wurden gemäß der Computersimulation mit dem oben genanntem Ausbau, der Position des Spielers und der Richtcharakteristik der Geige erfüllt, werden aber innerhalb dieses Manuskripts nicht näher erläutert.

Übungsraum Gitarre

Abbildung 11: Innenperspektive und Grundriss mit Position des Spielers (roter Kreis) – Übungsraum Gitarre

$$f_0 = \frac{600}{d \cdot m} \quad \text{[Hz]} \quad (1)$$

$$200 = \frac{600}{0{,}15 \cdot m}$$

$$m = 0{,}2 \quad \text{[kg/m²]}$$

f_0 Resonanzfrequenz
d Luftabstand
m Massenbelag

$$m = \frac{\rho \cdot (l_a + 2\Delta l)}{\sigma} \quad \text{[kg/m²]} \quad (2)$$

$$0{,}2 = \frac{1{,}2 \cdot (0{,}016 + 1{,}6 * 0{,}00075)}{\sigma}$$

$$\sigma = 10{,}32 \quad \text{[%]}$$

ρ Dichte der Luft
l_a Plattendicke
$2\Delta l$ Mündungskorrektur
σ Lochflächenverhältnis

Dabei ist $2\Delta l = 1{,}6a$

a Radius

$$\sigma = \frac{1{,}5^2 \cdot 78{,}5}{b^2} \quad \text{[%]} \quad (3)$$

$$b = 17{,}1 \quad \text{[mm]}$$

b Lochabstand

Tabelle 2: errechnete Absorptionsgrade für perforierte Holzwerkstoffpaneele

Frequenz in Hz	125	250	500	1000	2000	4000
α	0,2	0,5	0,2	0,1	0,05	0,025

Der Übungsraum für die Gitarre ist bewusst schlicht gehalten. Das Hauptmerkmal bei der Gestaltung liegt auf dem durch die Perforation erzeugten Muster, das über das

erzeugte Portrait hinaus auf den Teil der Decke und der gegenüberliegenden Wand übergeht. Die in der Abb.11 dargestellte perforierte Holzwerkstoffverkleidung der Wand rechts absorbiert zwischen 250Hz und 8000Hz über 77% der anfallenden Schallenergie, die Musikinstrument-bedingt in die Richtung dieser Wand bei den meisten Frequenzen besonders stark ist. Nach der raumakustischen Simulation des kahlen Raumes (Abb.12, 13) wurde eine Problemstelle bei ca.250Hz festgestellt, auf die bei der Raumgestaltung besonders eingegangen wird. Die Holzwerkstoffverkleidung der Decke und der Wand links verschafft zusätzliche Absorptionsfläche für die tiefen Frequenzen und behebt dieses Problem. Um einen Tiefenabsorber mit dem angepassten Erscheinungsbild zu generieren, soll der Lochdurchmesser an das schon auf dem Markt vorhandene Paneel rechts und an die festgelegte Abhangshöhe des Trockenbaus der Decke und der Wand links angepasst werden. Die Resonanzfrequenz soll bei 200Hz liegen. Daraus ergeben sich Massenbelag F.1, Lochflächen-verhältnis F.2 und Lochabstand F.3 des neuen Paneels. Die daraus folgenden Absorptionswerte sind in Tab.2 dargestellt.

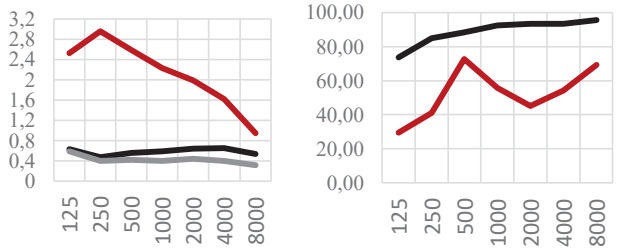

Abbildung 12: Computersimulation von Nachhallzeit (links) und Deutlichkeitsgrad (rechts)

Ohne Innenausbau — Mit Innenausbau

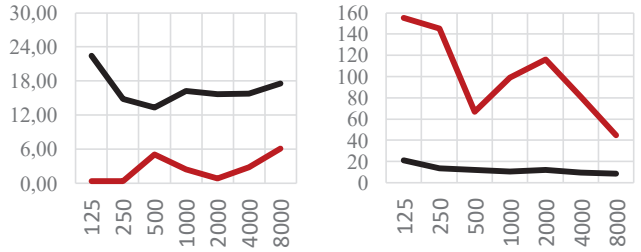

Abbildung 13: Computersimulation Klarheitsmaß (links) Schwerpunktzeit (rechts)

Ohne Innenausbau — Mit Innenausbau

Übungsraum Horn

Das Gestaltungsmerkmal im Übungsraum Horn ist die Keramik-Platte, die beliebig gruppiert werden kann. Die vordimensionierten Abstände zwischen den Platten / Gruppen von Platten und zur Wand ermöglichen die gleichmäßige Verteilung der Schallenergie im Raum um 1kHz bis 2kHz. Um die Streuung bei 4kHz zu erreichen, wird in die Keramik-Platte eine Wölbung (Abb.15) mit den entsprechenden Abmessungen eingearbeitet. Die nach [5] ausgerechnete Strukturperiode, Breite und Dicke sind in der Tab.3 aufgelistet. Für die Absorption in diesem Raum ist ausschließlich der mit Luftabstand angebrachte Trockenbau verantwortlich. Die gestellten Anforderungen an raumakustische Qualitätskriterien wurden mit oben genanntem Ausbau, Position des Spielers und Richtcharakteristik des Horns erfüllt, allerdings werden sie innerhalb dieses Manuskripts nicht näher erläutert.

Abbildung 14: Innenperspektive und Grundriss mit Position des Spielers (roter Kreis) – Übungsraum Horn

Tabelle 3: Ermittelte Werte für geometrisch strukturierte Diffusoren bei 1000Hz, 2000Hz und 4000 Hz

Frequenz	Struktur-periode	Breite	Dicke
1kHz	0,5m	0,3m	0,1m
2kHz	0,25m	0,15 m	0,05m
4kHz	0,125m	0,07m	0,025m

Abbildung 15: Wölbung in der Keramik-Platte

Zusammenfassung

Die ausgearbeiteten Gestaltungskonzepte für Übungsräume erfüllen sowohl die ästhetischen Ansprüche als auch die formulierten Anforderungen an die Raumakustik. Dies wurde erreicht, indem die raumumschließenden Elemente die akustischen und dekorativen Funktionen in sich vereint haben und indem ein einheitliches auf das jeweilige Musik-instrument abgestimmtes Raumkonzept geschaffen wurde.

Literatur

[1] DIN 18041-2016-03, Hörsamkeit in kleinen bis mittelgroßen Räumen, Berlin: Beuth Verlag GmbH.

[2] GRABER G, WESELAK W: Raumakustik VO, Version 3.0. TU Graz, Institut für Breitband-kommunikation, SS 2004

[3] J. Meyer, Akustik und musikalische Aufführungspraxis, Frankfurt am Main: Verlag Erwin Bochinsky, 1996.

[4] Datenbank TU Berlin: `https://depositonce.tu-berlin.de/handle/11303/6305.2`

[5] L. Cremer und H. Müller, Die Wissenschaftlichen Grundlagen der Raumakustik, Stuttgart: S. Hirzel Verlag, 1978.