

# Wenn das Kamel durchs Nadelöhr muss

Christian Jungebluth

Fotos und Abbildungen: Christian Jungebluth

## Überlegungen zum Bau eines Tonstudios



Wie viele Tonstudios mag es Deutschland geben? Grob geschätzt sind es wahrscheinlich einige tausend. Legt man die Definition etwas enger und zieht die Vorgaben des IRT zur Übertragungsfunktion von Lautsprechern an der Abhörposition als Kriterium heran, reduziert sich die Zahl voraussichtlich deutlich. Kompromisslose ‚Tempel des Hörgenusses‘, die scheinbar ohne Begrenzung von Ressourcen wie Raum, Geld und Zeit geschaffen wurden, sind in Deutschland an zwei bis drei Händen abzuzählen. Dennoch ist es auch mit begrenzten Ressourcen möglich, ein akustisch

ausgewogenes Arbeitsumfeld zu schaffen. Meine Erfahrungen dazu möchte ich schildern. Mitte 2008 fiel meine Entscheidung von Hamburg nach Goslar zu ziehen. Da mir sehr viele Mitmenschen jetzt die Frage stellen ‚warum nur – von Hamburg aufs Land? will ich dem gleich mit meiner Standardantwort vorgreifen: ‚Um endlich wieder vor dem Haus parken zu können‘. Um in meinem neuen Heim professionelle Arbeitsmöglichkeiten zu schaffen, entstand im Souterrain auf 46 Quadratmetern des alleinstehenden Hauses mein neues Studio mit Aufnahme- und Regie-



# SPIELRAUM

Ob Theater, Oper oder Musical – jede Vorstellung fordert individuelle Lösungen im Bereich der Audiotechnik. Vielseitigkeit und Kreativität steht nichts mehr im Weg, da die Technik bis auf die kleinsten Details mit der Produktion abgestimmt werden kann. Unsere **AURUS** Mischpulte erlauben größte Flexibilität durch Automation von individuellen Abläufen. Höchste Funktionsvielfalt vereint mit komfortabler Bedienung bieten Ihnen inhaltlich, technisch und kreativ den größtmöglichen Spielraum.

## STAGETEC DELIVERS

**SZENENAUTOMATION** Einzigartig abgestimmt für Anwendungen im Theaterbetrieb  
**STEUERUNG** Umfassende Integration von Peripheriegeräten (MIDI Show Control, GPI)  
**PARALLELBETRIEB** Konsolenbetrieb durch mehrere Toningenieure gleichzeitig möglich  
**HIGH END FEATURES** 128 Mix-Busse, über 150 dB Dynamik durch TrueMatch Wandler  
**SLAVE-KONSOLEN** Voller Remotebetrieb im Zuschauerraum, Remotekonsole ab 16 Fadern  
**GESCHWINDIGKEIT** Einsatzbereit in 30 Sekunden und extern vernetzt dank **NEXUS**  
**PC TOOLS** PC-Fernbedienung, Offline Editor zur Vorbereitung der Produktion  
**ERPROBT** Roadtauglich und zuverlässig für Theater, Musical und im Livebetrieb

WIR INSPIRIEREN SIE

## AURUS

THE DIRECT ACCESS CONSOLE



Industriegebiet See  
96155 Buttenheim

Tel.: +49 (0) 95 45 440-300

Fax: +49 (0) 95 45 440-333

sales@stagetec.com

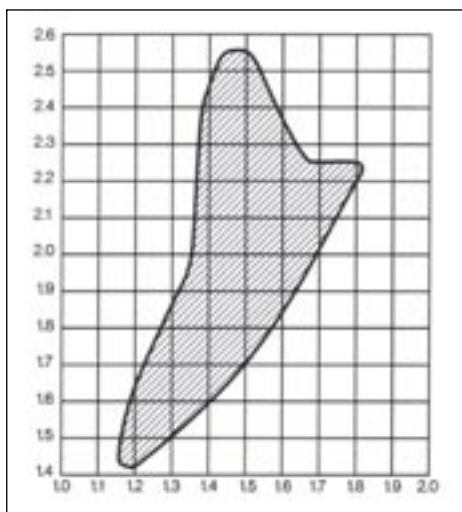
www.stagetec.com

## Planungsphase

In der Planung zur Akustik gibt es drei große Themen: Raummoden, Schallführung und Nachhallzeit. Bei der Ausarbeitung der Regie hat die Betrachtung dieser drei Bereiche letztlich zum Ziel, die Übertragungsfunktion der Lautsprecher am Abhörplatz zu optimieren. Bei der Planung des Aufnahmerraumes hingegen gilt es vorrangig, eine möglichst homogene Schallausbreitung zu erreichen. Dabei ist natürlich zu bedenken, dass je nach Anwendungsbereich die Nachhallzeit unterschiedlich angepasst sein sollte.

## Raummoden

Für die Wiedergabeeigenschaften einer Regie im niederfrequenten Bereich ist die Raummodenverteilung entscheidend. Eine Raummode entsteht durch Resonanz einer Schallwelle mit sich selbst. Diese kann sich axial, tangential und oblique zwischen zwei, vier oder sechs Wandflächen ausbilden. Modenindizes bezeichnen die Anzahl der Schalldruckminima zwischen den drei Ach-



Die Bolt Area

sen, also sechs Wänden. So wäre der Indize für die erste axiale Mode der Raumbreite zum Beispiel (100), für die zweite (200), für die erste tangentielle Mode zwischen Decke und Raumlänge (011) usw. Die drei Ziffern entsprechen in diesen Beispielen der Breite, Länge und Höhe des Raumes. Fallen nun die Schalldruckminima diverser Moden mit einer gemeinsamen Resonanzfrequenz auf die gleiche Position im Raum, ist dort von dieser Frequenz nichts mehr zu hören. Bei einer günstigen Verteilung der Moden gleichen sich diese idea-

erweise gegenseitig aus. Dazu müssen die drei Seitenlängen des Raumes gewisse Verhältnisse aufweisen.

Die theoretischen Meinungen zu diesen optimalen Seitenverhältnissen gehen etwas auseinander. Der Akustiker Bolt hat dazu Vorgaben entwickelt und diese in der ‚Bolt Area‘ festgehalten. Der Akustiker Sepmeyer hat ebenfalls mehrere dieser ‚Golden Ratios‘ ermittelt, kommt jedoch nicht zu völlig identischen Aussagen. Er legte sowohl Golden Ratios fest, die in der Bolt Area liegen, als auch solche, die sich damit nicht decken. Von einer exakten Wissenschaft würde ich hier folglich nicht sprechen. Bei einem Neubau sollte man sich die Mühe machen, die Seitenverhältnisse sowohl für Regie als auch für den Aufnahmerraum innerhalb der Bolt Area zu platzieren.

Und neben günstigen Seitenverhältnissen muss ein Raum auch eine gewisse Größe haben, damit sich tiefe Frequenzen überhaupt ausbilden können.

## Nachhallzeit

Der zweite große Aspekt bei der Planung ist die Nachhallzeit. In einer Regie sollte diese zwischen 200 und 300 Millisekunden liegen, bei einem Studio für Klassikproduktionen eher länger, für Rockproduktionen eher kürzer. Die Nachhallzeit sollte nicht nur bei 1kHz, sondern möglichst in allen Terzbändern von 125Hz bis 4kHz gleich bleiben. Natürlich ist es auch bei 75 Hz und bei 8 kHz erstrebenswert eine Nachhallzeit von 250 Millisekunden zu erreichen, allerdings decken die meisten Herstellerangaben bei Schallabsorptionskoeffizienten nur den Bereich nach DIN 52216 ab (Oktaven von 125 Hz bis 4 kHz). Für Aufnahmerräume ist die ‚richtige‘ Nachhallzeit eher ein philosophischer Diskurs.

Die frequenzabhängige Nachhallzeit pro Terzband lässt sich mit der Sabine’schen Formel berechnen. Man multipliziert die realen Oberflächen jeweils mit ihren Schallabsorptionskoeffizienten pro Terzband und addiert die Ergebnisse, um die äquivalente Schallabsorptionsfläche pro Terzband zu errechnen. Man erhält dann die Größe einer fiktiven Oberfläche mit der gleichen Absorptionswirkung und einem angenommenen Absorptionsgrad von 100 Prozent bei der zu ermittelnden Frequenz; zum Beispiel ergeben zehn Quadratmeter mit einem Schallabsorptionskoeffizienten von 0,1 bei 1 kHz ei-

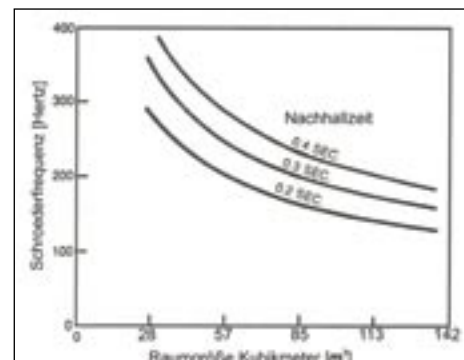
ne äquivalente Schallabsorptionsfläche von einem Quadratmeter bei 1 kHz. Summiert man alle äquivalenten Schallabsorptionsflächen aller Oberflächen im Raum erhält man ‚A‘. Vor diesem Hintergrund kann man die Nachhallzeit für jedes Terzband durch gezielte Materialauswahl beeinflussen.

$$RT_{60} = 0,163 \frac{V}{A} \quad RT_{60} = 0,163 \frac{V}{\sum S_i a_i}$$

V = Raummolumen  
A = Äquivalente Schallabsorptionsfläche

## Sabine’sche Formel zur RT60 Berechnung

In der Praxis gerät die Nachhallzeit bei fallender Frequenz immer mehr in die Abhängigkeit von Raummoden. Die Moden erhalten durch ihre Korrelation die Energie im Raum und erzeugen dadurch schmalbandige Erhöhungen der frequenzbezogenen Nachhallzeit. Dieses Phänomen beginnt im Bereich der ‚Schroederfrequenz‘.



Die Schroederfrequenz bei verschiedenen Raumgrößen und Nachhallzeiten

## Schallführung

Der dritte große Aspekt ist die Schallführung. Zwischen der Schroederfrequenz und dem Vierfachen der Schroederfrequenz ist die Verteilung des Schalls im Raum durch Beugung und Diffusion bestimmt. Erst darüber breitet sich der Schall als Schallstrahl aus und kann nach den Gesetzmäßigkeiten der Reflexion behandelt werden. Nach dem Haas Effekt werden Reflexionen, die bis zu 30 ms nach dem Direktschall wahrgenommen werden, vom Ohr als zugehörige Reflexionen gewertet. Diese Reflexionen erzeugen jedoch Kammfiltereffekte. Verdeutlichen kann man sich dies, wenn man rosa Rauschen anhört und eine hart reflektierende Fläche hinter dem Kopf hin- und herbewegt. Man kann sehr schöne Flanger-Effek-



te hören, darum sollte man beim Mischen auch keinen Hut mit Krempe tragen. Reflexionen, die später als 30 ms beim Hörer eintreffen, werden hingegen als Echo wahrgenommen. Um Kammfiltereffekte und Echos möglichst klein zu halten, muss der Schall so geleitet werden, dass nach der Emission über die Lautsprecher alle Reflexionen möglichst abgeschwächt, spät und diffus an den Ohren eintreffen.

### Umsetzen der Theorie in die Praxis

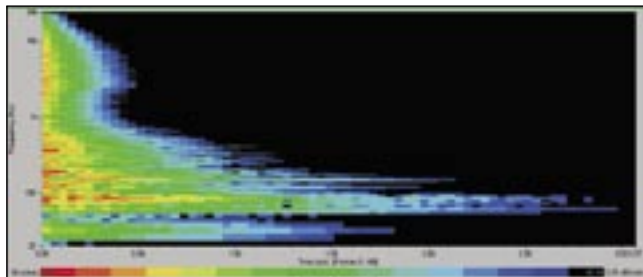
In meinem Fall war die Einteilung des Raumes in Regie (25,5 qm) und Aufnahmebereich (20,5 qm) durch tragende Säulen vorgegeben. Unter Hinzunahme der Deckenhöhe ergibt sich für die Regie das Seitenverhältnis von ca. 2 zu 2,8. An der Bolt Area kann man erkennen, dass damit keine optimalen Ergebnisse zu erwarten sind. Die Verschaltung und der Einbau einer Trennwand zum Maschinenraum verbessert die Ausgangslage

zwar auf ein Verhältnis 1,9 zu 2,2, allerdings ist eine dünne Holzverschaltung für sehr tiefe Frequenzen als Hindernis nicht wirklich existent und so bleiben die Maße zwischen den Betonwänden die relevanten Reflexionsflächen.

Um den Einfluss der Moden auf Nachhallzeit und Übertragungsfunktion in den Griff zu bekommen, nutzt man Absorber. Sie absorbieren die von den Moden erhaltene Schallenergie. Axiale Moden besitzen die größte Energie, da sie bei der Reflexion nur von zwei Flächen abgeschwächt werden. Absorber funktionieren aber nicht breitbandig. Also gilt es, die Problemfrequenzen zu errechnen und anhand dieser entsprechen-

de Absorber zu konzipieren. Die Praxis folgt leider nicht ganz der Theorie. Das ‚Finetuning‘ der Absorber kann daher oftmals erst nach der Fertigstellung erfolgen. Ich hatte das Glück, nicht nacharbeiten zu müssen. Um die Problemfrequenzen der Regie zu ermitteln, habe ich die ersten Moden berechnet. Selbst bei grafischer Auswertung der Zahlen, blieb die Bewertung der Moden nach ihrer (leider unbekannt) Energie und Resonanz untereinander sehr schwierig. Man kann dazu 3D-Berechnungssoftware nutzen, in meinem Fall habe ich zur Klärung eine Messung im Rohbau des Studios durchgeführt und konnte im dazugehörigen Spektrogramm bei 85 Hz,

Mode	Frequenz
(1 0 0)	40,83
(0 1 0)	29,07
(1 1 0)	50,12
(0 0 1)	81,67
(1 0 1)	91,21
(2 0 0)	81,67
(0 1 1)	86,69
(0 2 0)	58,14
(1 1 1)	95,82
(2 1 0)	86,69
(1 2 0)	71,04
(2 0 1)	115,49
(0 2 1)	100,25
(2 1 1)	119,1
(3 0 0)	122,5
(1 2 1)	108,24
(2 2 0)	100,25
(3 1 0)	125,9
(0 3 0)	87,2
(0 0 2)	163,33
(3 0 1)	147,23
(2 2 1)	129,3
(1 3 0)	96,29
(1 0 2)	168,26
(0 1 2)	165,9
(3 1 1)	150,07
(1 1 2)	170,85
(3 0 2)	136,59
(0 2 1)	119,47
(1 3 1)	126,26
(2 3 0)	119,47
(2 0 2)	182,81
(4 0 0)	163,33
(2 1 2)	184,81
(0 2 2)	173,37
(3 2 1)	158,29
(4 1 0)	165,9
(1 2 2)	178,11
(2 3 1)	144,72
(4 0 1)	182,81
(4 1 1)	184,81
(3 3 0)	150,37
(3 0 2)	204,17
(0 4 0)	116,27
(2 2 2)	191,84
(4 2 0)	173,37
(1 4 0)	123,29
(3 1 2)	204,23
(0 3 2)	188,16
(3 3 1)	171,11



Spektrogramm der Regie im Rohbau

Die ersten Raummoden bis ca. 200Hz



DENN SIE WISSEN  
WAS SIE TUN.



Über 80 Jahre Erfahrung.  
Studio-Kopfhörer von beyerdynamic

[www.beyerdynamic.de](http://www.beyerdynamic.de)

Besuchen Sie uns auf der



**beyerdynamic**)))

und etwas abgeschwächer zwischen 150 Hz und 170 Hz, eine Erhöhung der Nachhallzeit ausmachen. Das deckte sich mit der Theorie. Ähnliche Frequenzen findet man auch in der Tabelle zu den Raummoden gehäuft.

Um eine Bedämpfung dieser Frequenzen zu erreichen, legte ich sowohl die Innenverschalung des Studios als auch die Trennwand zum Maschinenraum als Plattenresonator aus. Helmholtz-Resonatoren wären eine weitere, allerdings raumintensivere Alternative gewesen. Die Absorptionskoeffizienten für meine Prototypen-Absorber konnte ich im Vorhinein natürlich nicht wissen. Daher habe ich frei nach dem Motto ‚nicht so viel wie nötig - sonder so viel wie möglich‘ geplant. Plattenresonatoren basieren auf einem Masse-Feder Schwingungssystem. Eine Platte (aus Holz, Metall, Gipskarton oder Kunststoff) schwingt angeregt durch den Schall vor einem geschlossenen Luftvolumen. Durch das Auffüllen des Hohlraumes hinter der Platte mit porösen Stoffen kann die Bandbreite der Resonanz vergrößert werden. Um die Federwirkung des Resonators zu erhalten, sollte ein Luftpolster im Hohlraum verbleiben. Über den Plattenabstand zur Wand und das Flächengewicht der Platte lässt sich die Resonanzfrequenz erschließen. In meinem Fall liegt das Flächengewicht der Innenverschalung bei ca. 2,5 kg/m<sup>2</sup> inklusive einer Dämpfung mit Schaumstoff. Für 85 Hz und 160 Hz ergibt das einen Wandabstand von ca. 20 und 5,6 cm.

$$f_r \sim \frac{600}{\sqrt{d \cdot m}}$$

d = Plattenabstand [cm]

m = Flächengewicht (Masse) [kg/m<sup>2</sup>]

**Formel für die  
Berechnung eines Plattenresonators**

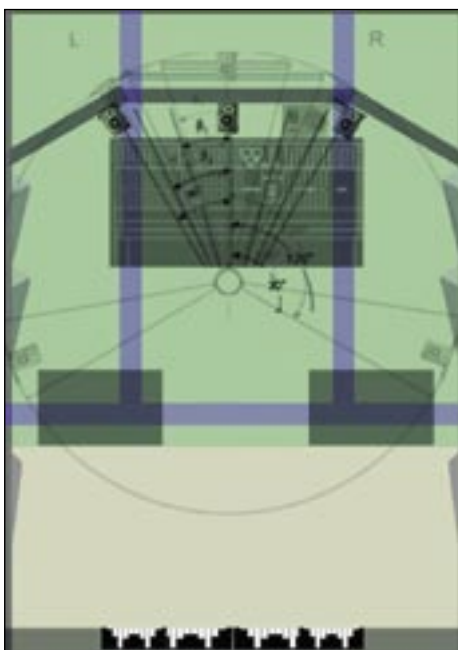
## Oberflächengestaltung

Bei der Planung der Regie wurden die Oberflächen innerhalb des Raumes so gestaltet, dass die Schallabsorption in ihrer Gesamtheit zur gewünschten Nachhallzeit führt. Wie bei einem Puzzle sind die Raumboflächen so lange zu ändern, bis die Nachhallzeit über das gesamte Frequenzspektrum dem gewünschten Wert entspricht. Da in meinem Fall viele Wandoberflächen als Absorber konzipiert waren, konnte ich jedoch nicht immer frei wählen. Auch der Bo-

den als Korkfertigparkett war quasi eine feste Größe, die das Maß frei veränderbarer Oberflächen reduzierte.

## Schallführungskonzept

Zur Schallführung in der Regie habe ich an den Seitenwänden Schallkeile eingesetzt. Sie lenken den Schall nach hinten ab und leiten so keine frühen Reflexionen zum Ohr. Schallkeile sind der ‚kleine Bruder‘ der antiparallelen Wand. Die Fronten der Keile sind absorptiv, ebenso die gesamte Frontwand. Dies verhindert auch, dass der Schallstrahl der Surround Lautsprecher zum Hörer reflektiert wird. Das gleiche gilt für die Decke, die ansonsten für jeden der fünf Lautsprecher ungünstige Reflexionen erzeugen würde.



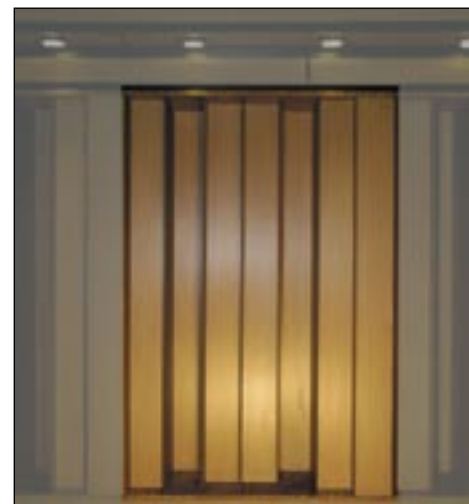
Planungsskizze der Regie

Die Frontseite der Regie ist zu den Seitenwänden um 30 Grad abgeschrägt. Dahinter befindet sich der Maschinenraum. An der Rückwand sind auf ca. 65 % der Breite QRD Diffusoren installiert, die Reflexionen über die Rückwand ‚aufweichen‘ und den Nachhall homogener machen. An der Ein- und Durchgangstür sind ebenfalls Schallkeile angebracht. Grundsätzlich sollte man parallele Flächen vermeiden, da zwischen diesen gerade bei schallharten Flächen störende Flatterechos entstehen. Bei der gesamten Konzeption sollte unbedingt eine symmetrische links/rechts Anordnung der Regie eingehalten werden. Ein wichtiger Aspekt hierbei ist, ob man ein Fenster zum Aufnahme-

raum benötigt oder ob eine Video-Sichtverbindung reicht. Plant man auf der linken Seite ein Regiefenster, sollte auf der rechten Seite auch eins sein. Hier Kompromisse zu machen, führt zu einer Verschlechterung im Stereopanorama und bei der Ortung. Ich habe mich daher für eine bidirektionale Videoverbindung entschieden.

## Die QRD-Diffusoren

Ich habe sowohl in der Regie als auch im Aufnahmezimmer vier eindimensionale QRD-Diffusoren installiert. In einer Regie sollten bevorzugt eindimensionale Diffusoren verwendet werden, da Sie den Schall nur in der Ebene streuen, die senkrecht zu den Streifen verläuft. Zweidimensionale Diffusoren (auch bekannt als Skyline o.ä.) streuen den Schall in und aus allen Richtungen und widersprechen so dem Gedanken der Achssymmetrie. Ein eindimensionaler QRD-Diffusor besteht immer aus einer Primzahl von Streifen. (7,11,13, ...). Je mehr Streifen verwendet werden, desto größer ist der Frequenzbereich, in dem der Diffusor wirkt. Allgemein gilt, je tiefer die Streifen sind, desto tiefer ist die untere Grenzfrequenz. Die Schachtbreite bestimmt die höchste erfasste Frequenz.



Hervorgehoben ist eines  
der Eigenbau-QRD-Diffusormodule

Jeder meiner Diffusoren ist als Modul mit 90 x 60 x 20 cm ausgeführt und hat theoretisch einen Wirkungsbereich von ca. 400 Hz bis 3,5 kHz. Aus Kostengründen und aufgrund der speziellen Abmessungen entschied ich mich dafür, die Diffusoren selber zu bauen. Durch die ungerade Anzahl der Streifen sind meine Module nicht symmetrisch,



schließen aber beim nächsten Modul mit dem passenden Laufzeitglied (oder Graben, Streifen) an.

Obwohl die Diffusoren den Schall primär reflektieren sollen, liegt ihr Absorptionsgrad meiner Einschätzung nach zwischen 0,3 und 0,2; zu hohen Frequenzen abfallend.

## Schalltrennung

Eigentlich immer benötigt man schwimmenden Estrich, um den Körperschall vom Fundament oder dem Boden fernzuhalten. Ansonsten wird die einmal eingeleitete Schallenergie über Fundament und Wände weitergegeben und ist auch in angrenzenden Räumen noch zu hören. Ich habe schon ein Schlagzeug hören können, fünf Wohnungen entfernt in über 40 Meter Entfernung.

Zwischen Aufnahme- und Regie-Raum sollte immer eine möglichst hohe Schalltrennung bestehen. Erstens um das Schallereignis im Aufnahme-Raum über die Lautsprecher in der Regie beurteilen zu können, zweitens um die Lautsprecher aus der Regie nicht im Aufnahme-Raum zu mikrofonieren. Neben dem Körperschall bleibt noch der über die Luft in die Wände übertragende Schall. Um den Schalldämmwert einer normalen Wand zu erhöhen, nutzt man im Allgemeinen Gipskartonwände. Auf den Internetseiten der meisten Hersteller finden sich mittlerweile Akustikrechner, welche den theoretischen Schalldämmwert bei speziellen Verarbeitungsarten angeben.

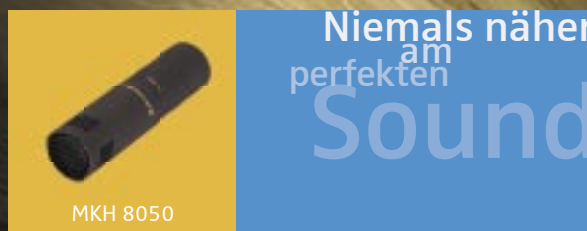
Ich stellte vor die tragende Kalksandsteinwand beidseitig eine doppelt beplankte Gipskartonwand, und davor die frei stehende Innenverschalung, die, wie schon erwähnt, auch als Plattenresonator dient. Dabei achtete ich darauf, möglichst keine festen Verbindungen zwischen Boden, Wand, Gipskarton und Vorsatzschale herzustellen. Alle der insgesamt fünf Wandschalen dämmen den Schall. Jede Verbindung untereinander (Stichwort: Schallbrücke) würde den Gesamtdämmwert erheblich reduzieren.

Leider sind auch Türen nötig. Verglichen mit einer geschlossenen Wand, ist der Schalldämmwert einer Schallschutztür vergleichsweise schlecht.



Der fertige Aufnahme-Raum

**SENNHEISER**



Die neue elegante MKH 8000-Serie. Hightech, die man hören kann. Die weltweit einzigartige HF-Kondensatortechnik sorgt für unnachahmliche Wärme, Transparenz und Dynamik. Für höchste Ansprüche – im Studio und auf der Bühne. Kurz: Mit den neuen MKHs wird Sound zum unvergesslichen Erlebnis. [www.sennheiser.de](http://www.sennheiser.de)



Abhilfe schafft die Planung eines Flurs oder eines ‚Soundlocks‘ zwischen Aufnahme und Regie. Dort kann sich der Schall fangen.



*Soundlock zwischen Regie und Aufnahmeaum*

Durch die Breite der fünfschaligen Wand war es mir möglich, jeweils in der Gipskartonschale Schalldämmtüren einzulassen. So entstand innerhalb der Wand ein Soundlock mit ca. 45 cm Tiefe.

### Holzunterkonstruktion

Die erwähnten Plattenabsorber und Schallkeile basieren auf einer einfachen Holzunterkonstruktion mit HDF-Beplankung. Zwischen der Unterkonstruktion, dem Boden und der Decke liegt jeweils Trittschalldämmung um den Körperschall zu minimieren. Da die Plattenabsorber durch Schwingung Energie aus dem Schall absorbieren, sollte man auch dort auf eine Bedämpfung achten um Klappern zu verhindern. Als Nebeneffekt erhöht sich die Bandbreite der Absorberwirkung.



*Holzunterkonstruktion bei einem der Schallkeile*

Sämtliche Verschraubungen in Beton sind mit Nypondübeln ausgeführt, um die Schalltrennung zu erhöhen.

Schon zu Beginn muss man auch über Kabelkanäle (in meiner Planung hellblau), Sideracks (graue Kästen), Mischpult, TFT-Displays, Lautsprecher (ITU 775), Kabel, Lüftung, Netzstrom, Lampen und Maschinenraum nachdenken.

### Der Maschinenraum

Der Maschinenraum dient primär zur Entkoppelung der Schallemission des PC. Durch die Montage des Computers in einem schallgedämmten Rack innerhalb des abgetrennten

Raumes ist in der Regie davon nichts mehr zu hören. Auch andere mit Lüftern ausgestattete Geräte sind dort gut aufgehoben. Die durch Gerätelüfter aufgeheizte Luft bleibt so in einem abgeschlossenen Raum. Die Frischluftzufuhr für die Regie habe ich innerhalb des Maschinenraums montiert. Die von außen angesaugte Luft wird gefiltert und über einen Schalldämpfer in den Raum



*Die Kabelkanäle im Zwischenboden*

eingeblassen. Als Schalldämpfer dient ein innen oberflächenbedämpfter Kasten, in dem die Luft mehrmals umgelenkt wird. Dadurch kann das Lüftergeräusch nicht direkt in die Regie reflektiert werden. Man könnte alternativ auch ein Klimagerät anschließen, um Temperatur und Luftfeuchtigkeit in der Regie konstant zu halten.

Die Kabelkanäle enden auf beiden Seiten des Maschinenraums. Sie liegen in einem doppelten Boden und lassen sich komplett öffnen. So kann man sowohl beide Racks als auch die Surround-Lautsprecher bequem

verkabeln. Durch den doppelten Boden entsteht zusätzlich eine Körperschalltrennung zwischen den Lautsprechern (Subwoofer) und dem Betonboden.

### Lautsprecherpositionen

Die Standorte der Lautsprecher in der Regie sind auch einige Überlegungen wert. Die Position des Hörers sollte mit den Stereolautsprechern ein gleichseitiges Dreieck bilden.

Der Schalldruck eines Lautsprechers bei der Positionierung in einer Raumecke erhöht sich um 18 dB. Jedoch liegen die Schalldruckmaxima von Raummoden meist auch in den Raumecken und man sollte tunlichst versuchen, diese nicht noch zu verstärken. Jede Veränderung der Lautsprecherposition bringt im Übrigen auch die Veränderung der Ausbreitung der Raummoden mit sich. Somit können Experimente mit der Lautsprecherposition auch manches Modenproblem verkleinern. Bei der Positionierung der Lautsprecher kurz vor einer Begrenzungsfläche wird vor allem der tieffrequente, omnidirektional abgestrahlte Schall von der Wand reflektiert. Ist der Abstand von der Wand zum Lautsprecher dabei gleich einem Viertel der Wellenlänge des Schalls, wird diese Frequenz durch die gegenphasige Reflexion der Wand ausgelöscht. Um das zu vermeiden, sollte man eine Aufstellung in einiger Entfernung von den Wänden vorziehen. Ist durch die Gegebenheiten des Raumes eine solche Aufstellung nicht möglich, sollte man über den Wandeinbau nachdenken. Die Aufstellung direkt vor der Wand ist auch möglich und verschiebt die Auslöschungen in hochfrequente Bereiche, die gerichtet nach vorn abgestrahlt werden. In meiner Regie stehen die Lautsprecher direkt vor der Trennwand zum Maschinenraum, die aber durch Ihre Leichtbauweise als Plattenresonator Bässe mehr beugen als reflektieren wird. Auch dadurch wird Effekt der Auslöschung weiter verringert.

### Mobiliar

Sie erinnern sich an das Beispiel mit der Hutkrempe? Ähnliche Effekte werden auch von Computermonitoren, Mischpulten, Meterbridges und Sideracks ausgelöst. Daher sollte der Weg vom Lautsprecher zum Ohr möglichst frei von Hindernissen sein. Die von Fritz Fey zu Recht verteilte Position der Lautsprecher auf der Meterbridge führt



zu Reflexionen über die Mischpultoberfläche, die keineswegs in großem Maße verzögert, bedämpft oder diffusiert werden. Grundlegende Gedanken zum Studiomobiliar sollten also schon in der Planungsphase einfließen. Ich habe versucht, durch die Integration der TFT-Display's in den Mischpulttisch lästige Reflexionen zu umgehen. Die Position der Lautsprecher auf Stativen hinter der Meterbridge lässt die Mischpultreflexionen flacher werden und diese treffen dann hoffentlich mehr die Brust als das Ohr.



Mischpulttisch mit versenkten TFT-Displays

## Korrekturverzerrung der Lautsprecher

Trotz der Absorber ist der Einfluss der Raummoden auf die Übertragungsfunktion der Lautsprecher immer noch erheblich. Die Energie wird zwar schneller abgebaut, aber es besteht immer noch eine Verzerrung im Bereich der Schalldruckminima und Schalldruckmaxima. Um das auszugleichen, kann man mit einem Equalizer die Übertragungsfunktion der Lautsprecher anpassen. Dabei ist das Absenken von Überhöhungen meist effektiver als das Anheben der Schalldruckminima. Zusätzlich schränken starke Anhebungen die Dynamik der Lautsprecher ein. Eine Bearbeitung kann jedoch nur für einen Teilbereich des Raumes eine Verbesserung bringen, da die Korrelation der Moden an jedem Punkt des Raumes unterschiedlich ist. Auf jeden Fall sollte das Einmessen mit entsprechender Messsoftware und den Ohren geschehen. Ich habe mit dem lautsprechereigenen EQ der Dynaudios die Übertragungsfunktion am Abhörplatz korrigiert. Hierbei würde ich generell keine radikalen Einstellungen empfehlen. Alles was über drei oder im Extremfall sechs dB geht, klingt trotz aller Theorie nicht gut. Im Bereich über ca. 500 Hz (Schoederfrequenz) sollte man von einer Entzerrung absehen, da dort die Raummoden kaum noch Einfluss haben. Dann lieber dem Gehör das Berechnen überlassen.

## Hören

Nach einer langen Planungs- und Umbauphase ist man natürlich gespannt, was bei der ganzen Theorie

*- Limited Edition -*  
*- Manufactured using original technologies -*

GEORG-NEUMANN-GEFELL  
 1928 · 80th Anniversary · 2008

Finely Crafted  
 hand-made Microphones since 1928  
 made in Germany

unverwechselbarer vintage sound



**M 990 art**  
 Röhren-Kondensatormikrofon  
 hoch aussteuerbarer Ausgangsübertrager



**M 930 art**  
 Transistor-Kondensatormikrofon  
 Ersatzgeräuschpegel 7 dB-A

**Ihre wertbeständigen Anlagen in Analogtechnik**

**80 Years**  
**MICROTECH GEFELL**

www.microtechgefell.de info@microtechgefell.de ☎ +49 36649 882-0

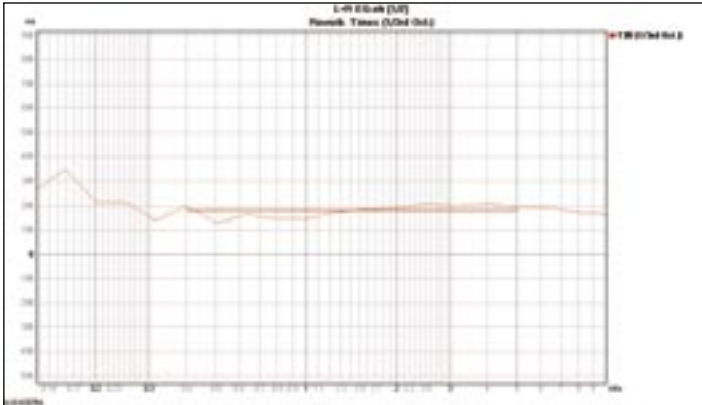
Besuchen Sie uns auf der



in der Praxis herausgekommen ist. Dazu habe ich mich einige Tage durch meine CD Sammlung gehört. Die Regie hat eine messerscharfe Phantommitte, ein sehr schönes Stereopanorama und die Bässe kommen richtig trocken – das Hören macht Spaß!

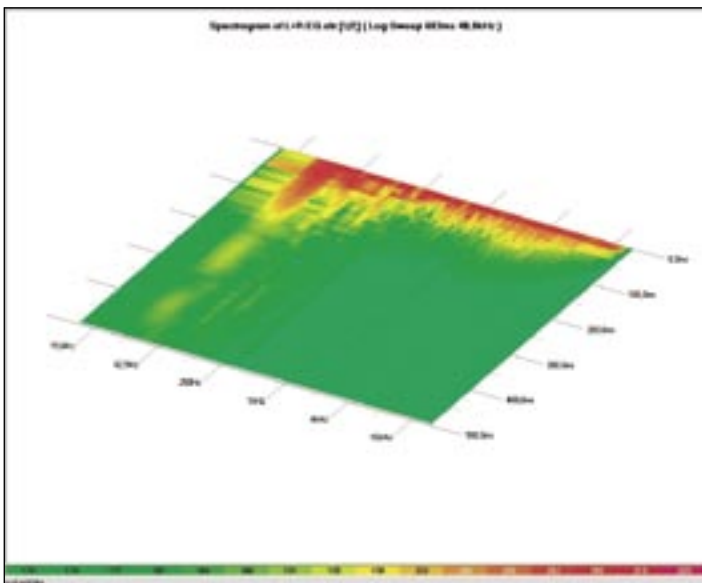
## Messtechnisches

Um die Audioparameter der Regie genau darstellen zu können, haben Fritz Fey und ich einen Nachmittag messend in der Regie verbracht. Die Nachhallzeit gemittelt über die Frequenz beträgt 185 ms. Tendenziell ist die Nachhallzeit bis 300 Hz recht konstant und steigt darunter auf ca. 350 ms an.

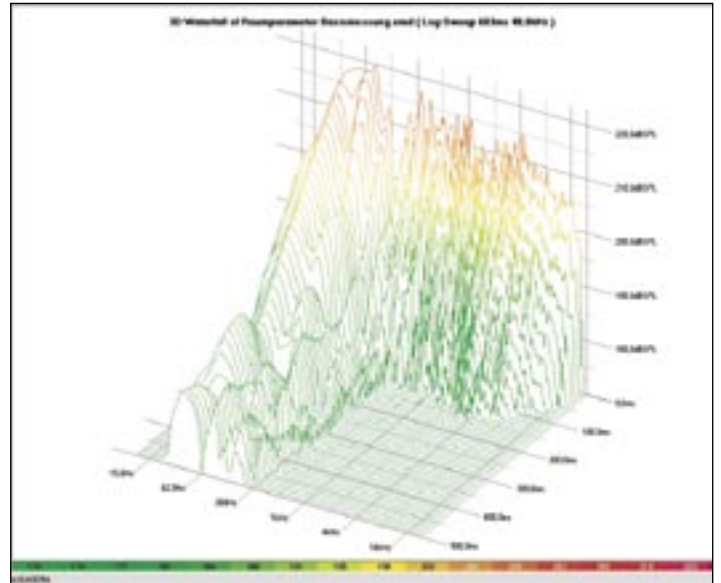


*Nachhallzeit über die Frequenz*

Im Spektrogramm kann man erkennen, dass die Moden bei 85 Hz und 160 Hz durch die Plattenresonatoren gut bedämpft wurden. Ihre Nachhallzeit tritt zwar hervor, liegt aber noch unter 250 ms. Die Erhöhung bei ca. 37 Hz scheint ihre Ursache in verschiedenen verkoppelten Phänomenen zu haben. Dort liegt zum Beispiel die Eigenresonanz der Eingangstür. Das Bedämpfen des Schallkeils an der Tür reduzierte zwar deren Einfluss, jedoch blieb die RT60 bei 37 Hz davon unberührt. Vermutlich hat in diesem Zusammenhang auch der angrenzende Flur Relevanz und auch die beiden axialen Moden bei 29 Hz (010) und 40 Hz (100) könnten von Bedeutung sein.

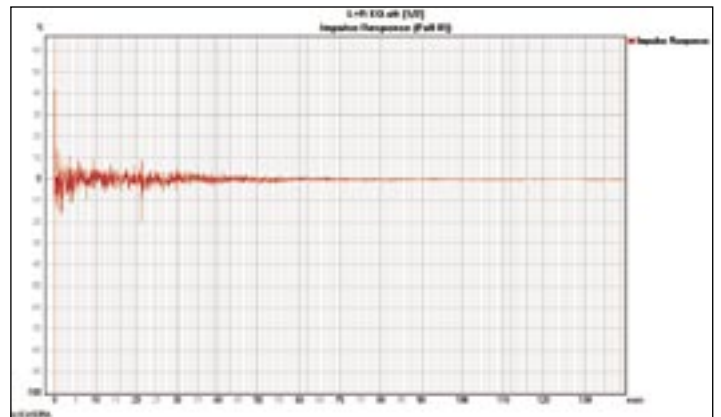


*Spektrogramm der Regie*

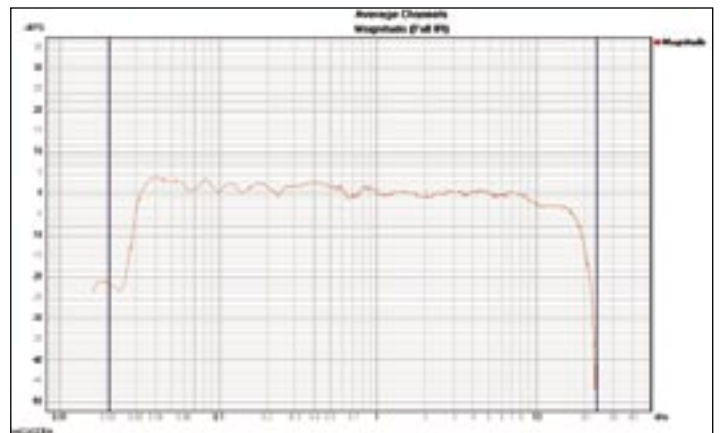


*Zerfallsspektrum*

In der Praxis bleibt die Abhöre aber selbst beim schlimmsten Heavy Metal Double Bass Feuerwerk ‚stramm‘. Ich denke, dass bei 37 Hz die meisten Musiksignale nicht genügend Energie emittieren, um problematische Pegel zu erzeugen.



*Impulsantwort*



*Frequenzgang*

Die Wirkung der Raumgeometrie und QRD-Diffusoren kann man sehr gut in der Impulsantwort erkennen. Im hochpegeligen Bereich finden sich keine harten Reflexionen, diese würden andern-

The logo for Cubase 5, featuring a red diamond shape with a white dot inside, followed by the text "CUBASE 5" in white.

**CUBASE 5**

# Experience. Innovation. Cubase 5.

Mehr Informationen bei  
Ihrem Fachhändler oder auf  
[www.steinberg.de](http://www.steinberg.de)

The Steinberg logo, consisting of a red circle with a white play button icon inside, followed by the text "steinberg" in red and "Creativity First" in white below it.

**steinberg**  
Creativity First



falls Kammfilter oder Echos hervorrufen. Den Frequenzgang haben wir an der Abhörposition (Sweet Spot) gemessen. Die Messung beinhaltet die Korrektorentzerrung, so dass man die bei der täglichen Arbeit wirksame Übertragungsfunktion sieht.

Die messtechnischen Ergebnisse bestärken das, was die Ohren vorher schon als angenehmes und entspanntes Hörerlebnis zurückgemeldet hatten. Natürlich wäre es gerade im Bassbereich noch möglich, weitere Verbesserungen zu erzielen. Aber das Verhältnis zwischen Aufwand und Wirkung empfinde ich an diesem Punkt als sehr zufriedenstellend.

## Fazit

Die Akustik eines Studios ist aus meiner Sicht ihr kostbarstes Gut. Investitionen in die Akustik rechnen sich vor allem im Hinblick auf die Audio-Ergonomie. Selbst anspruchsvolle Masteringaufgaben sind mit einer guten Akustik entspannter, ermüdungsfreier und schneller machbar, da alle Prozesse des Hörens, Beurteilens und Entscheidens einfacher und mit größerer Sicherheit erfolgen. Das wird leider in der heutigen Zeit zunehmend weniger wahrgenommen. So werden eher Investitionen für neue Kompressoren, EQs und Plugins getätigt, als die Kosten zur Verbesserung der Akustik auf sich zu nehmen. Aber was lohnt alles Equipment, wenn man nicht richtig hört und so die darin steckenden Möglichkeiten gar nicht ausloten kann? Ich hoffe, mit meinem Beispiel gezeigt zu haben, dass sich schon mit einfachen Mitteln deutliche Verbesserungen erzielen lassen. Über Fragen und Feedback freue ich mich, einfach per Email an [info@youngbloodstudios.de](mailto:info@youngbloodstudios.de) oder meine Webseite [www.youngbloodstudios.de](http://www.youngbloodstudios.de) besuchen. ■

## Weiterführende Literatur

Dynaudio Acoustics AIR Manual: [http://www.dynaudioacoustics.com/media/Air\\_DE\\_111.pdf](http://www.dynaudioacoustics.com/media/Air_DE_111.pdf) (sehr gute Erklärungen zur Aufstellung und Einmessung)

Mike Shea: How to Build a Small Budget Recording Studio From Scratch. (weitere Beispiele für bautechnische Lösungen)

F. Alton Everest: Master Handbook of Acoustics (fast alles zum Thema Akustik)

Thomas Görne: Mikrophone in Theorie und Praxis, Elektor Verlag GmbH Aachen

## Der Autor



Christian Jungebluth (geb. 1973) ist gelernter Industriemechaniker. Nebenberuflich studierte er an der SAE Köln und machte dort seinen Abschluss als Diplom Audio Engineer. Seine Diplomarbeit verfasste er zum Thema Regieakustik ([www.youngbloodstudios.de/image/Facharbeit.pdf](http://www.youngbloodstudios.de/image/Facharbeit.pdf)). Seit fast 20 Jahren ist er Musiker und fand darüber den Weg in die Tontechnik und Akustik. Seit 2004 betreibt er sein Tonstudio ([www.youngbloodstudios.de](http://www.youngbloodstudios.de)), zunächst in Hamburg und seit 2009 in Goslar. In Hamburg hat er für verschiedene Auftraggeber gearbeitet. So unter anderem für Dipl.-Ing. Ralph Kessler (Ingenieurbüro Pinguin), von dem er im Bereich Mastering, Forschung und Akustik viel gelernt hat. Mit dem Pinguin Audio Team begleitete er außerdem Orchestertouren nach Istanbul, Moskau und in die USA. Die Tontechnik ist seine Berufung und bedeutet für ihn Kommunikation, Leidenschaft und Emotion.

Am neuen Standort Goslar wird er sein Angebot, neben Musikproduktion und Mastering, um Seminare und Weiterbildungen ausbauen.

*Das von Christian Jungebluth gebaute Studio ist ein hervorragendes Beispiel dafür, wie man auch mit einfachen Mitteln eine professionelle Stereo- und Surround-Abhörsituation herbeiführen kann. Der Begriff ‚einfach‘ ist in diesem Zusammenhang natürlich dehnbar, denn wer jemals versucht hat, QRDs zu bauen, wird wissen, dass dazu eine Menge handwerkliches Geschick und Sorgfalt nötig sind, abgesehen von der intensiven Einarbeitung in die Materie selbst. Ein Studio ist ein sehr komplexes Konstrukt, das eine sehr gezielte Planung aller baulichen und ergonomischen Aspekte erfordert, unabhängig von seiner Größe: Schallschutz, Elektrik, NF-Installation, Raumakustik, Infrastruktur, IT, Geräteauswahl, Arbeitsbedingungen, optische Gestaltung und vieles andere mehr. Die messtechnische Überprüfung im Verlaufe unseres gemeinsamen Nachmittags zeigte, dass alle theoretischen Überlegungen sehr effektiv in die Praxis umgesetzt werden konnten. Der Autor kann sich naturgemäß schlecht selbst loben, weshalb dieser Kommentar auch dazu dienen soll, Christian Jungebluth ein Kompliment auszusprechen. Alle Arbeiten wurden sehr sauber und mit viel Liebe zum Detail ausgeführt. Das Studio macht einen sehr vertrauenerweckenden und auch gemütlichen Eindruck, der diejenigen Musiker und Produzenten mit einer kreativen Arbeitsatmosphäre belohnt, die sich für das Arbeiten in einer sorgfältig abgestimmten Umgebung entschieden haben. In der Regie herrscht dank des Maschinenraums absolute Ruhe und die Abhörsituation erlaubt ein entscheidungssicheres Arbeiten. Obwohl der Aufnahmeraum recht klein ist, klingt er offen und lebendig, so dass nicht einmal die etwas ‚grenzwertige‘ Deckenhöhe negativ in Erscheinung treten würde. Christian Jungebluth hat die richtigen Prioritäten gesetzt: Eine funktionierende Raumakustik mit einem präzisen Abhörsystem statt orientierungsloser Anhäufung von Soft- und Hardware. Es ist alles da, was man für einen professionellen Produktionsablauf braucht und – man hört, was man tut. Gut zu wissen, dass in unserer Branche auch jüngere Kollegen unterwegs sind, die genau wissen, worauf es ankommt.*

Fritz Fey