

# Raumakustik und Schallschutzkabinen

Referat und Ausarbeitung von Tobias Van  
im Rahmen des Tonseminars, WS 11/12.  
Professor: Oliver Curdt

## Ziel

Das Referat/ die Arbeit soll für das Thema Raumakustik sensibilisieren, indem auf die wichtigsten Begriffe eingegangen wird, Probleme erläutert werden und Methoden für deren Bekämpfung vorgestellt werden. Außerdem soll über persönliche Erfahrungen beim Bau einer Schallschutzkabine berichtet werden.

## Das Schallfeld

Das Schallfeld bezeichnet im Prinzip das real auftretende, zusammengefasste Schallereignis, das der Hörer (beispielsweise in einer Regie) wahrnimmt. Dieses kann in drei Bestandteile aufgeteilt werden. Den Direktschall, die frühen Reflexionen oder Early Reflections und den Diffusschall. Der Direktschall wird vom Hörer zuerst wahrgenommen und bezeichnet das Signal, das – ohne Umwege – direkt von der Schallquelle (z.B. den Studiomonitoren) zum Ohr des Hörers gelangt. Die darauffolgenden ersten Reflexionen, die Early Reflections, beeinflussen stark den empfundenen Raumeindruck. Von Diffusschall wird gesprochen, sobald eine gleichmäßige Verteilung der Reflexionen im Raum stattgefunden hat und sie somit überall im Raum die gleiche Lautstärke haben (was nicht bedeutet, dass sie überall im Raum auch gleich klingen, die Frequenzverteilung ist durchaus unterschiedlich).

In der Raumakustik kommt den Early Reflections eine besondere Bedeutung zu, da sie wesentlichen Einfluß auf die Wahrnehmung eines Signals haben. Auch hier kann wieder eine Unterteilung in drei Zeitbereiche vorgenommen werden. Reflexionen, die innerhalb von 0 bis ca. 10 ms nach dem Direktsignal beim Hörer eintreffen sind hauptsächlich für eine „Verunreinigung“ der Hörwahrnehmung verantwortlich. Um dies zu vermeiden, ist ein häufiges Ziel beim Verbessern der Raumakustik das Erreichen eines ITD-Gap (Initial Time Delay Gap) von etwa 10 bis 17 ms. Das bedeutet, dass durch akustische Maßnahmen (Absorber, Planung der Raumgeometrie, Veränderung der Position von Abhörmonitoren und -punkt etc.) versucht wird, jegliche Reflexion in diesem Zeitbereich am Abhörpunkt zu vermeiden. Später eintreffende Reflexionen bis etwa 30 ms erhöhen lediglich die empfundene Lautstärke des Signals (auch Haaseffekt genannt) und sind deswegen recht unkritisch. Noch später eintreffende Reflexionen werden als getrenntes Signal /Echo wahrgenommen. Je nach Art des Signals variieren diesen Zeitbereiche natürlich und die Übergänge sind stets fließend.

## Nachhallzeit

Ein weiterer wichtiger Faktor bei der Beurteilung der Raumakustik ist die Nachhallzeit. Sie wird meist mit dem Wert RT60 angegeben und meint die Zeit, nach der der Diffusschall gegenüber dem Direktsignal (nachdem dieses abgeschaltet wurde) um 60 dB abgeklungen ist. Am einfachsten ist es, die Nachhallzeit zu messen, sie kann aber auch Näherungsweise mit der gebräuchlichen Formel

nach Sabine berechnet werden:  $RT60 = 0,163(s/m) \times V/(S\alpha)$ ; wobei  $V$  das Raumbvolumen in  $m^3$ ,  $S$  die gesamte Raumboberfläche in  $m^2$  und  $\alpha$  den mittleren Absorptionsgrad des Raums darstellt. Jedes Material von Objekten oder „Raumbegrenzungsflächen“ hat einen anderen Absorptionsgrad. Der Absorptionsgrad ist eine dimensionslose Zahl von 0 bis 1 und drückt die Absorptionsfähigkeit eines Materials aus. 0 steht dabei für komplett reflektierend und 1 für komplett absorbierend.

Verschiedene Absorptionsgrade können in Tabellen (Beispiel: Tabelle 1) nachgelesen werden.

Wichtig ist hierbei, dass der Absorptionsgrad stark frequenzabhängig ist. Tiefe Frequenzen sind in der Regel schwerer zu absorbieren als höhere Frequenzen. Eine übliche erwünschte Nachhallzeit für einen Regieraum wären 0,3 Sekunden. Da es schwer ist, in allen Frequenzbereichen eine exakt gleiche Nachhallzeit zu schaffen wird in der Praxis wohl häufig ein Toleranzschlauch eingeräumt, in dessen Grenzen die Zielnachhallzeit als erfüllt gilt (siehe Abbildung 1).

Frequenz (Hz)	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
<b>Wandmaterialien</b>									
Beton	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05	0,06
Mauerwerk, glatt	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,05	0,07	0,09
Leichtbauwand (Gipskarton auf Metallständerwerk)	0,10	0,12	0,25	0,12	0,10	0,10	0,12	0,15	0,20
Fenster, Spiegel	0,01	0,01	0,12	0,10	0,05	0,04	0,02	0,02	0,02
Tür (Holz, lackiert)	0,03	0,05	0,10	0,08	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05
<b>Boden</b>									
Teppichboden bis ca. 5mm	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,20	0,30	0,40	0,50
Teppichboden ab 5mm	0,02	0,02	0,03	0,06	0,10	0,30	0,50	0,60	0,70
Linoleum	0,01	0,01	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04	0,05	0,05
Parkett oder Dielen festaufliegend	0,01	0,02	0,03	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05	0,06
Marmorboden, Fliesen	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,06
Beton	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05	0,06
<b>Einbauten</b>									
Dünner Vorhang	0,03	0,05	0,07	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60
Schwerer Vorhang gerüscht	0,05	0,10	0,15	0,45	0,90	0,95	1,00	1,00	1,00
Mineralwolle 20mm	0,01	0,02	0,05	0,20	0,45	0,70	0,85	0,90	1,00
Mineralwolle 50mm	0,02	0,05	0,20	0,45	0,70	0,85	0,90	1,00	1,00
Mineralwolle 100mm	0,05	0,20	0,45	0,70	0,85	0,90	1,00	1,00	1,00
Mineralwolle 200mm	0,20	0,45	0,70	0,85	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00
Bassfalle (650mm Mineralwolle)	0,70	0,80	0,90	0,95	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Bassfalle (650mm) mit Folie	0,70	0,80	0,90	0,95	0,90	0,85	0,80	0,75	0,70

*Tabelle 1: Absorptionsgrade*

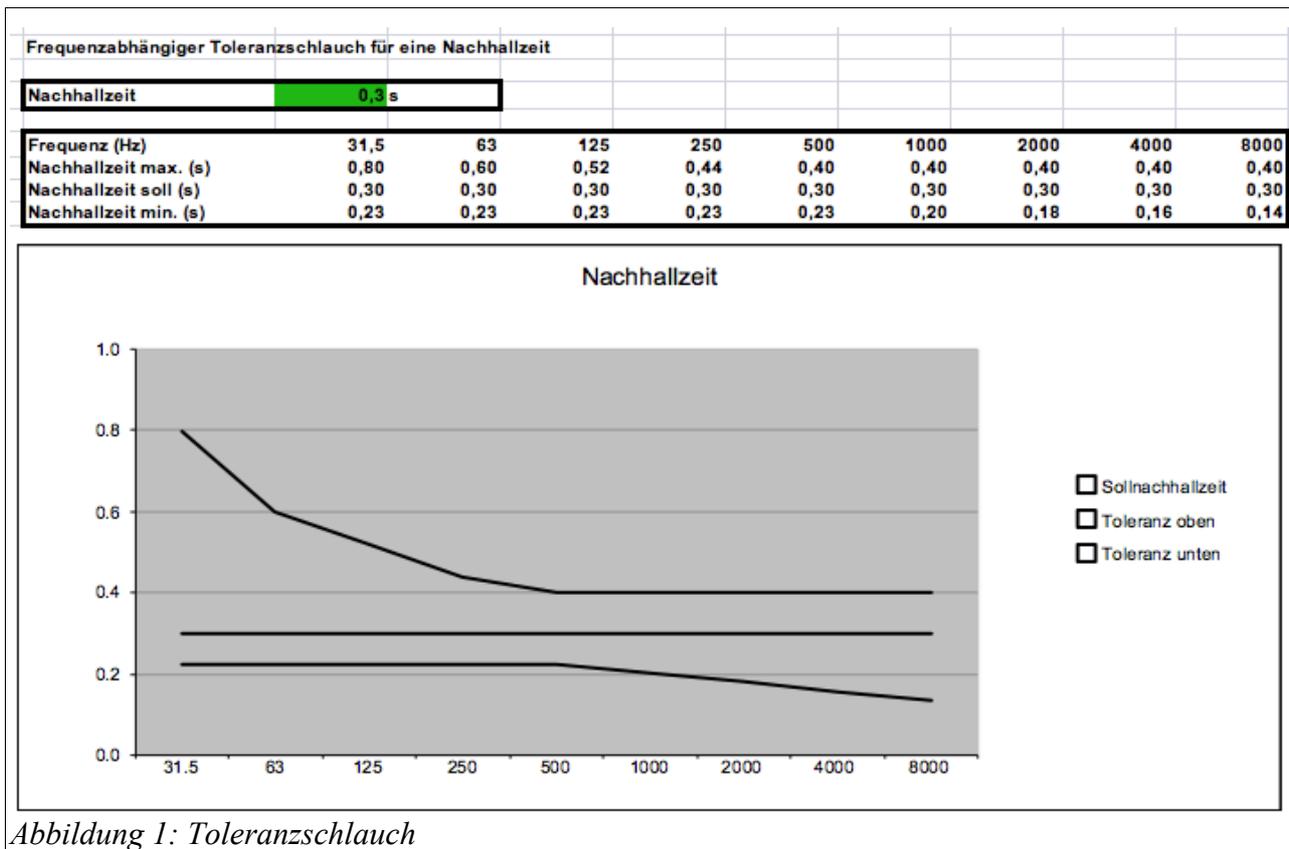


Abbildung 1: Toleranzschlauch

## Stehende Wellen

Stehende Wellen treten immer zwischen zwei parallelen Flächen auf. Diese Resonanzen im Bass- / Tiefmittbereich sind aufgrund des gut wahrnehmbaren Effekts der Überbetonung und Auslöschung bestimmter Frequenzen an bestimmten Punkten im Raum jedem bekannt, da sie in jedem gewöhnlichen Wohnraum auftreten. Die halbe Wellenlänge der tiefsten stehenden Welle zwischen zwei Flächen (Wänden) ist genau so lang, wie der Abstand zwischen den Flächen. Die entsprechende Frequenz der stehenden Welle erster Ordnung kann wie folgt berechnet werden:  $f = c/2d$  ( $c$ : Schallgeschwindigkeit,  $d$ : Abstand zwischen zwei Flächen). Weitere stehende Wellen höherer Ordnung entstehen mit der entsprechenden Frequenz bei ganzzahligen Vielfachen der tiefsten stehenden Welle. Stehende Wellen sind Wellen, die sich gleichphasig zwischen zwei Wänden überlagern und somit zu Schalldruckmaxima und -minima führen. Schalldruckmaxima treten immer direkt an den Wänden auf. Bei der tiefsten stehenden Welle (Wandabstand = halbe Wellenlänge) befinden sich an beiden Wänden Schalldruckmaxima und genau in der Mitte des Raumes ein Schalldruckminimum (Schallschnelle maximal). Bei einer stehenden Welle zweiter Ordnung kommt ein Schalldruckmaximum in der Raummitte hinzu. Schalldruckminima befinden

sich jetzt bei einem und bei drei Viertel der Raumlänge. In einem realen Raum können auftretende stehende Wellen komplex sein, da sie ja nicht nur zwischen zwei Wänden, sondern zwischen allen Raumbegrenzungsflächen auftreten können. Eine Berechnung ist also immer eine gute Näherung, eine Messung aber immer die nützlichere, weil realere Variante.

## Reflexionsfreie Zone

Mit diesem Wissen ist es wünschenswert, sich um den Abhörpunkt (also die „Abhörzone“) eine Situation zu schaffen, in der eine gewisse Zeit lang nach dem Direktsignal der Studioabhöre (z.B. 17 ms, ITD-Gap) keine Reflexionen ankommen, die die Interpretation des Direktsignals verfälschen können. Zur Planung kann dabei eine Zeichnung des Raums erstellt werden, auf der die Abhöre, mögliche reflektierende Flächen und die Abhörposition (möglichst maßstabsgetreu) auftauchen. Nun kann man, ausgehend von den Lautsprechern, quasi im Raytracing-Verfahren ermitteln, welche Stellen an welchen Flächen zu ersten Reflexionen führen können, die in der Abhörzone eintreffen würden. Kann man nicht schon bei der Planung der Raumgeometrie ansetzen, sollten die entsprechenden Stellen akustisch behandelt werden. Wichtig in diesem Zusammenhang ist auch, das



Abbildung 2: Reflexionsfreie Zone

Lautsprecher nicht nur halbkugelförmig nach vorne abstrahlen (zu hohen Frequenzen auch gebündelter), sondern auch kugelförmig zu tiefen Frequenzen. Hier findet eine Schallbeugung um die Lautsprecher selbst statt, ab Frequenzen, deren Wellenlänge den Dimensionen der Lautsprecher entsprechen. Somit können auch Reflexionen an den Wänden hinter den Lautsprechern auftreten,

was berücksichtigt werden muss. Es bringt meistens nur Vorteile, den Abstand der Lautsprecher zur Rückwand zu erhöhen. Somit wird auch die Laufzeit der Reflexionen erhöht, was in der Regel zu einem „saubereren“ Klangbild führt.

## Absorber

Um die Akustik eines Raumes den eigenen Vorstellungen anzupassen, können verschiedene Arten von Absorbern verwendet werden, die ich hier kurz vorstellen will.

### Breitbandabsorber

Die wohl gängigsten Absorber sind Breitbandabsorber. Sie bestehen meist aus Mineralwolle oder Schaumstoff. Breitbandabsorber werden auch Strömungsabsorber genannt, da sie absorbierend wirken, indem sie die Schallschnelle herabsenken, ihr also einen Strömungswiderstand entgegenstellen. Somit wird auch der Schalldruck verringert. Es ist aber wichtig zu wissen, dass die Schallschnelle umgekehrt proportional zum Schalldruck ist und da der Schalldruck an den Wänden immer am größten ist, ist dort eigentlich ein ungeeigneter Ort zur Aufstellung eines Strömungsabsorbers, der nur direkten Einfluss auf die Schallschnelle hat. Mit anderen Worten: die Effektivität eines Strömungsabsorbers kann mit einem gewissen Wandabstand erhöht werden. Grundsätzlich gilt bei Breitbandabsorbern: je dicker das Material, desto tiefere Frequenzen können absorbiert werden. Folgende Formel liefert einen Richtwert, ab welcher Frequenz die Materialdicke eines Breitbandabsorbers eine Absorption von 80% erlaubt:  $f = c / (d \times 0,08)$  (c: Schallgeschwindigkeit, d: Materialdicke in cm). Manche Materialien erreichen auch effektivere Werte, wie etwa Melaminharzschaum (z.B. „Basotect“). Ein Problem, das bei der Verwendung zu vieler (und zu dünner) Breitbandabsorber entstehen kann, ist eine „mulmige“ Raumakustik, in der die Nachhallzeit in hohen Frequenzen schon zu kurz ist, in tiefen Frequenzen jedoch nahezu unverändert lang. Auch stehende Wellen treten unverändert auf. Abhilfe schafft die Verwendung dickerer (eventuell dafür auch weniger) Absorber, die bis in den Bassbereich absorbieren oder die Kombination mit speziell auf tiefere Frequenzen spezialisierten Absorbern. Will man Bassfallen aus Strömungsabsorbern herstellen, so müssen diese nicht nur entsprechend dick sein, sondern auch eine ausreichend große Fläche aufweisen, damit sich tiefe Frequenzen nicht einfach herumbeugen können.

## Plattenschwinger

Plattenschwinger eignen sich besonders für die gezielte Bekämpfung von Frequenzen zwischen etwa 100 und 200 Hz. Sie bestehen aus einer geschlossenen Box, von der eine Fläche aus einer Platte besteht, die in Schwingung versetzt werden kann. In Verbindung mit der eingeschlossenen Luft entsteht so ein Feder-Masse-System, das durch geeignete Dimensionierung gezielt zur Bekämpfung tiefer Frequenzen geeignet ist. Da so ein Feder-Masse-System den **Schalldruck** durch gegenphasiges Abstrahlen der Resonanzfrequenz absenkt, ist die effektivste Position für diese Art von Absorbern tatsächlich direkt eine Wand oder sogar noch besser eine Raumecke. Eine Abwandlung der einfachen Plattenschwinger sind die Schlitz- und Lochplattenschwinger. Hier fungiert nicht die Platte selbst als schwingende Masse, sondern die eingeschlossene Luft in den Löchern bzw. Schlitzen. Das Prinzip bleibt aber das gleiche. Diese Art der Plattenschwinger eignet sich besonders zur Bekämpfung von Frequenzen zwischen etwa 200 und 400 Hz. Die Bandbreite von Plattenschwingern kann durch Einbringung von Strömungsabsorbern in die Box erhöht werden. Bei den einfachen Plattenschwingern ist jedoch darauf zu achten, dass das Material nicht die Platte am Schwingen hindert.

## Helmholtzresonatoren

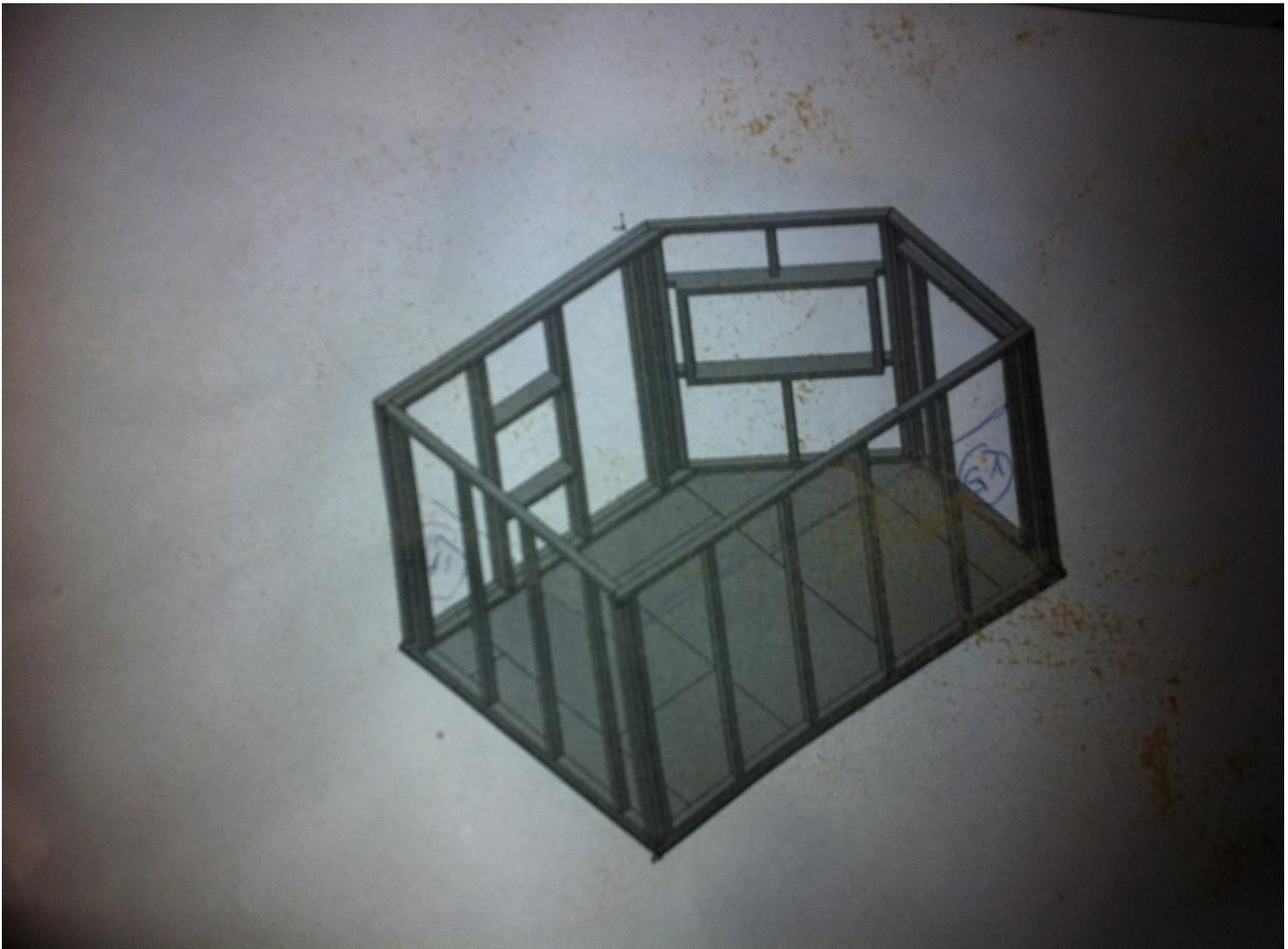
Auch Helmholtzresonatoren stellen ein Feder-Masse-System dar und eignen sich zur gezielten Bekämpfung von quasi beliebig tiefen Frequenzen (je nach Dimensionierung). Sie bestehen aus einer geschlossenen geometrischen Form mit einem definierten Hohlraum und einer definierten Größe eingebrachter Löcher. Je nach Wahl der jeweiligen Größen entsteht ein Feder-Masse-System mit einer recht schmalbandigen Resonanz, das wirksam tiefe Frequenzen (etwa stehende Wellen) in ihrer Intensität abschwächt, in dem die angeregte Frequenz gegenphasig vom Helmholtzresonator abgestrahlt wird.

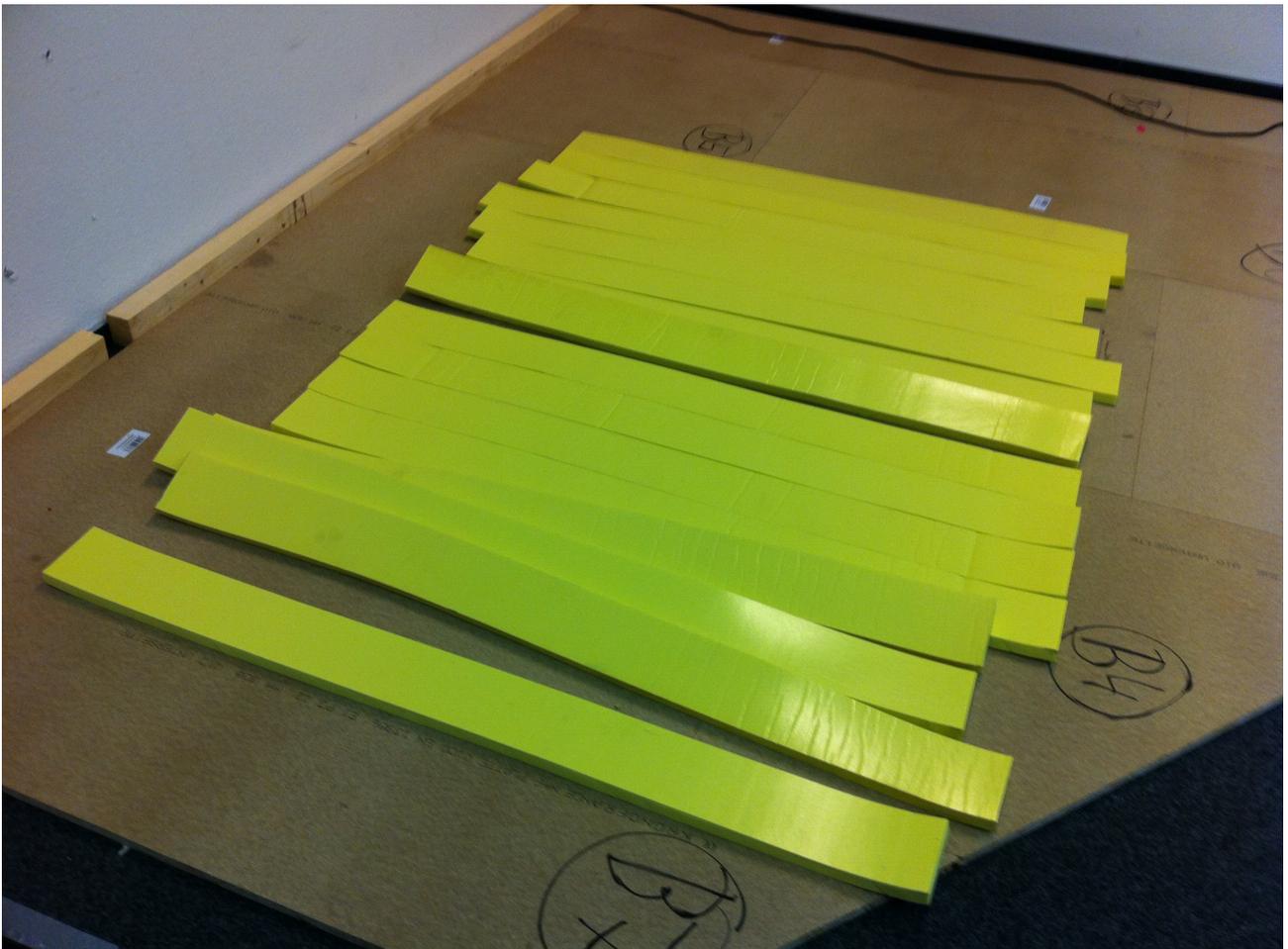
## Diffusoren

Wenn man die Nachhallzeit nicht weiter verringern, sich aber trotzdem ungewünschter Reflektionen entledigen möchte, stellen Diffusoren eine gute Ergänzung dar. Sie reflektieren auftreffenden Schall ungerichtet und schwächen die Intensität der Reflektion somit drastisch ab.

## Schallschutzkabinen

Stehen einem für Aufnahmen keine separaten Räume zur Verfügung, kann die Anschaffung einer Schallschutzkabine sinnvoll sein, um eine möglichst gute akustische Trennung zur Regie zu erreichen. Folgende Bilder zeigen Abschnitte des Baus einer Schallschutzkabine, die ich während der Semesterferien im Sommer 2011 zusammen mit meinem Studiokollegen ein Eigenregie gebaut habe. Eine gute Planung war dabei ebenso wichtig wie sauberes Arbeiten. Die Monatelangen Bauarbeiten brachten uns viele Erkenntnisse in der Bauakustik und letztendlich auch eine gut isolierende Aufnahmekabine. Unter anderem wurden neben Unmengen von Holzbalken und 22mm Spanplatten dabei auch Sylomer zur Entkopplung vom Studioboden, eine Tonne Sand, vier dicke Glasscheiben für zwei Fenster (jeweils 8 und 12 mm dicke), zwei Türen, Mineralwolle zwischen den Wänden, 11 Liter Holzleim, viele hundert Schrauben, ein Lüfter inklusive Lüftungsschacht für Zu- und Abluft verbaut. Ebenso wurden Kabel für Licht, Strom und Audioverbindungen jeglicher Art verlegt und viele Detaillösungen für das Beibehalten einer akustischen Isolierung gefunden.









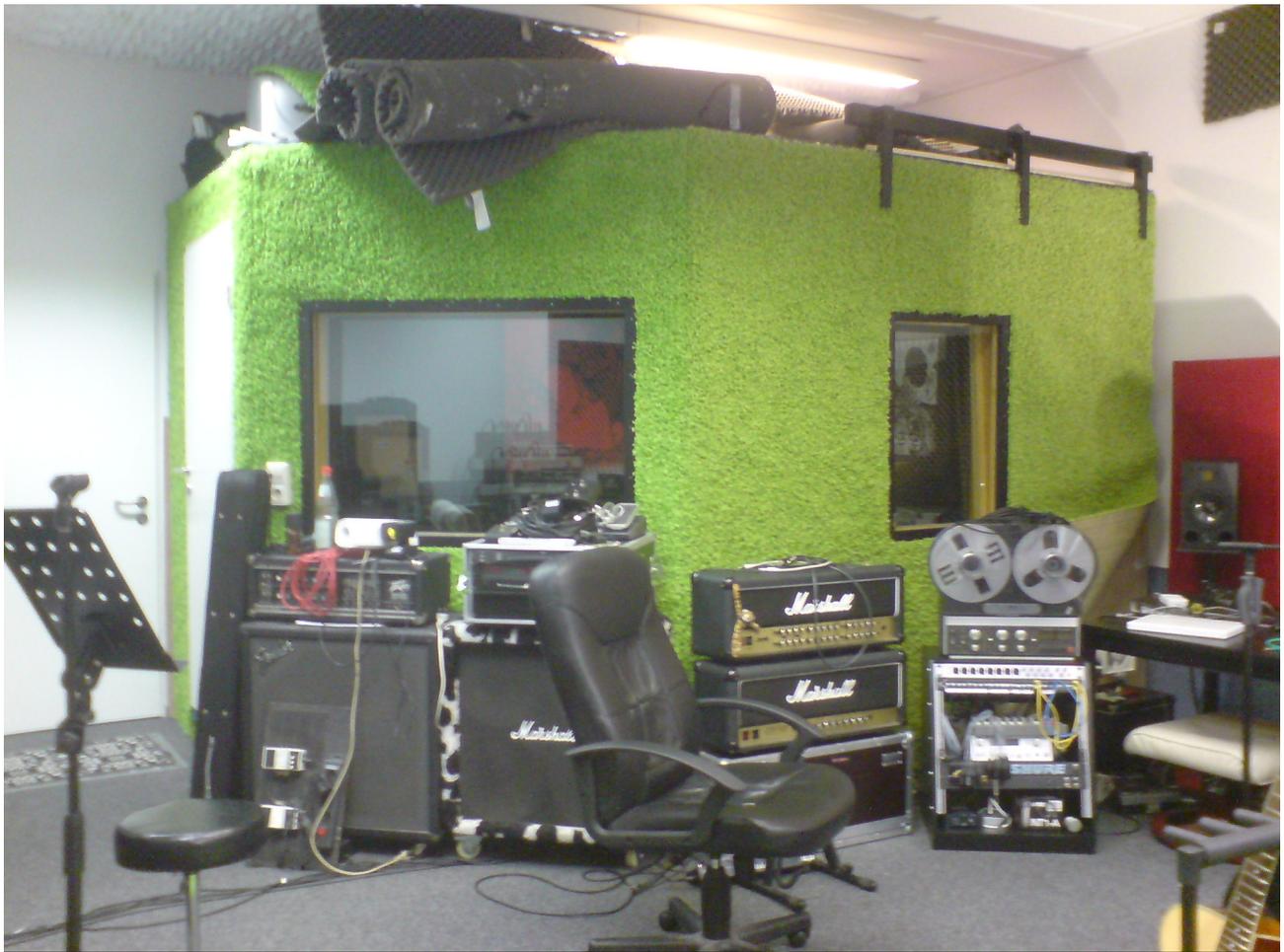














## Quellenangaben:

„Hauptquelle“:

Buch: „Studio Akustik – Konzepte für besseren Klang“, Andreas Friesecke, 2007 (HdM-Bibliothek)

Weitere Quellen:

Buch: „Schallschutz und Raumakustik in der Praxis“, W. Fasold / E. Veres, 2. Auflage 2003 (HdM-Bibliothek)

Buch: „Handbuch der Tonstudioteknik“, Michael Dickreiter, 7. Auflage 2008

Buch: „Handbuch der Tonstudioteknik für Film Funk und Fernsehen“, Johannes Webers, 9. Auflage 2007

Tabellen und Bilder:

Tabelle 1, Abbildung 1: CD-Rom des Buchs „Studio Akustik – Konzepte für besseren Klang“, Andreas Friesecke, 2007

Abbildung 2: <http://www.gearslutz.com/board/attachments/studio-building-acoustics/189998d1283186920-amish-electric-chair-control-room-design-33d-100disp-ray.jpg>, 23.01.2012, 13:40 Uhr

Alle sonstigen Abbildungen: Aufgenommen von Tobias Van