

DAS STUDIO AKUSTISCH FIT MACHEN

# Reflektieren über Reflexionen

DIE GRUNDPRINZIPIEN DER RAUMAKUSTIK BESSER VERSTEHEN LERNEN

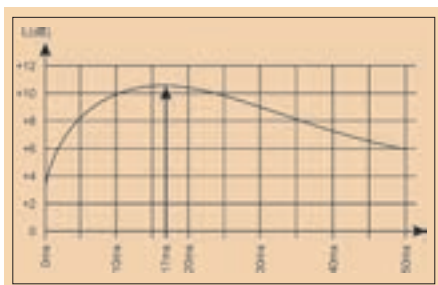
In einem akustisch vorbildlichen Regieraum sind alle Wandflächen so angelegt, dass irritierende Reflexionen vom Abhörpunkt ferngehalten werden.

Man sieht sie nicht, man hört sie nicht bewusst und sie können einem doch die gesamte Abhörsituation durcheinander bringen: Reflexionen. Wer bei seinen Produktionen stimmige Klangbilder erreichen möchte, sollte sich im Vorfeld auch um die richtigen akustischen Maßnahmen für seinen Regieraum kümmern. Dieser Artikel vermittelt ein Grundverständnis über Reflexionen, deren klangliche Auswirkungen und die Möglichkeiten mit ihnen richtig umzugehen.

Wenn Mono nicht in der Mitte bleibt, sind Reflexionen das Problem. Wer hat sich noch nie in folgender Situation befunden: Da positioniert man seine Signale mit dem Panoramaregler in die Mitte, setzt sich an den idealen Abhörpunkt und möchte anschließend die Signale auch aus der Mitte zwischen den Boxen hören. Doch die Signale sind nicht genau in der Mitte zu hören. Viel mehr scheinen sie in eine Richtung „wegzuwandern“. Man ärgert sich, denkt das Panoramapoti im Pult ist kaputt aber das Stereopegelmessgerät belehrt einen eines Besseren: Die Signale sind wirklich genau in die Mitte gepant. Weil man es nicht glaubt, drückt man den Mono-Knopf an der Abhöre – keine Änderung. Auch die nun vorhandene Mono-Mischung bleibt nicht stabil in der Mitte sondern bewegt sich. Ursache hierfür sind Reflexionen von den Seitenwänden, die die Lokalisation der Schallquelle verschieben.

# Der Haas-Effekt:

Auch Präzedenz-Effekt genannt. Er besagt, dass bei zwei verzögert aufeinander eintreffenden, gleichen Schallereignissen das zuerst eintreffende Schallereignis die Lokalisation bestimmt, sogar, wenn das spätere Schallereignis um bis zu 10dB lauter ist als das frühere. Dies gilt jedoch nur innerhalb eines bestimmten Zeitbereichs, der zwischen 2ms und 30-50ms liegt. Die Grafik zeigt, wie viel lauter das verzögerte Schallereignis sein darf, ohne die Lokalisation des Direktsignals zu beeinträchtigen. Bei 17ms kann die Reflexion den größten Pegel haben, ohne störend zu wirken.



**Schematische Darstellung des Pegels, den ein verzögert eintreffendes Signal im Vergleich zum Direktsignal haben kann.**

Im Bereich der Raumakustik ist eine Reflexion immer schwächer als das Direktsignal, weil sie eine größere Wegstrecke zurückzulegen hat. Trotzdem versucht man starke Reflexionen – wenn sie nicht zu vermeiden sind – in den Bereich um 17ms zu bekommen, da sie dann nicht stören.

Durch ein gezieltes Absorbieren dieser Reflexion würde die Lokalisation dann wieder stabil in die Mitte gehen. Daher könnte man schnell dem Glauben verfallen:

**„Reflexionen zwischen 0 und etwa 10ms sollten dringlichst vermieden werden.“**

**Nur eine tote Reflexion ist eine gute Reflexion.** Aber das stimmt so pauschal nicht! Nicht jede Reflexion wirkt sich störend aus (siehe auch die Kästen über die verschiedenen Auswirkungen). Nur Reflexionen zwischen 0 und etwa 10ms sollten dringlichst vermieden werden, wenn die Stereoabbildung stimmen soll.

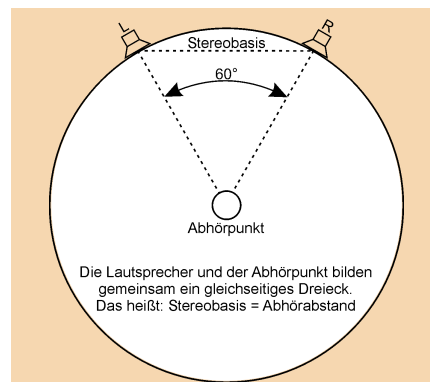
**Reflexionen ab 30ms wären dann auch wieder kritisch, da sie als Echo wahrgenommen würden.** Allerdings sind normale Regieräume nicht groß genug, um Reflexionen in diesem Zeitbereich zu erzeugen. Für 30ms Delay bräuhete man immerhin einen Umweg für den Schall von 10,2m! Wenn man alle Reflexionen mit ausreichend absorptivem Material abtötet, dann hat man sehr schnell einen zu trockenen Raum, in dem man ein unangenehmes Gefühl bekommt. Es scheint einem den Schall „aus den Ohren zu ziehen“. Man hat ein Gefühl der Orientierungslosigkeit, da man den gesehenen Raum akustisch nicht nachempfinden kann. Die Kunst bei der akustischen Ausgestaltung eines Regieraums ist es also, ein angenehmes Arbeitsgefühl zu haben, ohne dass störende Reflexionen im Arbeitsbereich auftreten. In der nächsten Ausgabe des Recording Magazins werden wir auf die Ausgestaltung der Nachhallzeit eines Regieraums eingehen und wir werden sehen, dass ein zu „toter“ Raum unerwünscht ist.

**Der Arbeitsplatz liegt in einer reflexionsfreien Zone (RFZ).** Ein Regieraum wird so konzipiert, dass der gesamte Arbeitsbereich in einer RFZ liegt. Im Idealfall geht die RFZ über die ganze Mischpultbreite und schließt ebenso das Outboardequipment mit ein, welches sich hinter oder neben dem Pult befindet. Ist ein so großer Bereich nicht möglich, so muss auf jeden Fall im Umkreis von einem Meter um den Abhörpunkt eine RFZ erstellt werden. Dafür gibt es zwei Möglichkeiten.

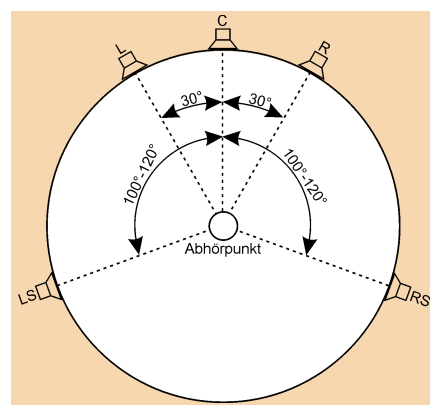
**Ist die Raumgeometrie noch nicht vorgegeben, so kann man Reflexionen durch**

**die Wände gezielt vom Abhörpunkt weg-leiten.** In diesem Fall sollte man in einer Skizze des Rohraums zuerst die gewünschte Position der (großen) Abhöre und des Abhörpunktes

festlegen. Bekanntermaßen bilden die zwei Lautsprecher einer Stereoabhöre mit dem Abhörpunkt ein gleichseitiges Dreieck. Im Fall einer Surroundabhöre wird diese im Kreis um den Abhörpunkt herum positioniert (siehe Skizzen).



**Aufstellungsvorschrift einer Stereoabhöre.**



**Aufstellungsvorschrift einer Surroundabhöre.**

**Wie man leicht sehen kann, beinhaltet die Surroundabhörvorschrift die Stereoanordnung.** In beiden Fällen ist die Lautsprecheranordnung symmetrisch zur Abhörposition. Daher gilt für den Raum zu beachten:

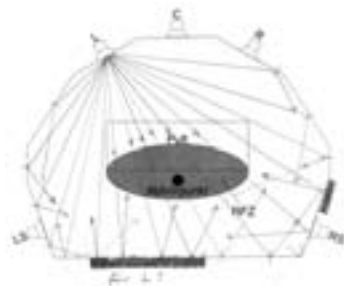
**Ein Regieraum sollte unbedingt symmetrisch mit der Abhöre aufgebaut werden. Ist dies aus baulichen Gegebenheiten nicht**

**möglich, sollte man sich tatsächlich überlegen, eine andere Sitzposition oder gar einen anderen Raum zu wählen. Ist der Raum nicht symmetrisch, so ist immer mit ungleichen Reflexionen von den Seitenwänden zu rechnen, so dass es zu Lokalisationsverschiebungen kommen kann. Ein Vorteil der symmetrischen Anordnung ist auch, dass Reflexionsskizzen immer nur für eine Raumhälfte erstellt werden müssen, da die andere Hälfte sich eben entsprechend symmetrisch verhält.**

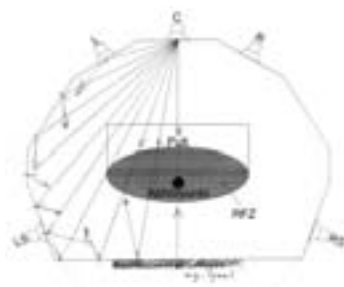
**Ist die (symmetrische) Anordnung der Abhöre festgelegt, so kann man die Wände positionieren.** Hierbei sind mehrere Dinge wichtig. Wenn möglich sollten alle Signale der Lautsprecher vom Abhörpunkt weggeleitet werden, so dass keine erste und frühe Reflexion entstehen kann. Gerade bei Surroundabhören ist allerdings diese Forderung nahezu unmöglich, da immer einer der fünf Lautsprecher über irgendeine Wand eine Reflexion zum Abhörpunkt werfen wird. In diesem Fall hilft nur noch das Anbringen von Absorbern, auf das später in diesem Artikel eingegangen wird. In den drei gezeigten Reflexionsskizzen rechts werden für drei der 5 möglichen Lautsprecher die Reflexionen in einem möglichen Regieraum eingezeichnet. Die zwei verbleibenden Lautsprecher ergeben sich dann aus Symmetriegründen automatisch. Stellen, an denen die Reflexionen kritisch werden und auf den Abhörpunkt treffen können, sind mit einem schwarzen Balken am Rand der Abbildung gekennzeichnet. Dort wird empfohlen, einen Absorber anzubringen."

**Erstellt man diese Skizzen, so empfiehlt es sich, für jeden Lautsprecher eine Kopie der Skizze anzufertigen und dessen mögliche Reflexionen einzuzichnen.** Dabei zeichnet man für jeden Lautsprecher mehrere ausgehende Schallstrahlen ein und konstruiert mit Hilfe eines Geodreiecks dessen Reflexionen über die Wände. Hierbei gilt immer, dass der Einfallswinkel einer Schallwelle gleich dem Ausfallswinkel ist. Anschließend kann man sich überlegen, welche Wände wie positioniert werden müssen oder wo noch Absorber hinkommen müssen.

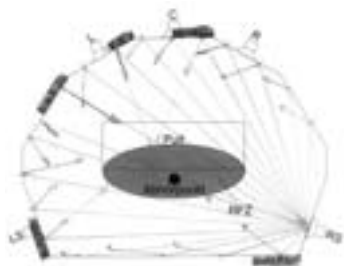
**Wandstrukturen werden erst wirksam, wenn ihre Größe die Wellenlänge der Schallwelle erreicht oder diese überschreitet.** Wie verhält sich eine Wandstruktur bei der Reflexion von Schallwellen? Bringt es etwas, eine kleine



**Reflexionsskizze für den linken Lautsprecher eines Regierums. Die schwarzen Balken am Rand stellen die Bereiche dar, in denen absorptive Materialien angebracht werden sollten. Der rechte Speaker ist entsprechend gespiegelt!**



**Reflexionsskizze für einen Regieraum für den Center-Lautsprecher. Nur die linke Hälfte wurde gezeichnet, da die rechte symmetrisch dazu ist.**



**Reflexionsskizze für den rechten Surroundlautsprecher. Auch hier gilt für den linken Surroundspeaker die entsprechend gespiegelte Anordnung.**

Schräge einzubauen oder ist dessen Wirkung nicht gegeben? Grundsätzlich gilt, dass eine Schallwelle sich um Hindernisse beugen wird, die kleiner als die Wellenlänge sind. Dies gilt natürlich auch für Wandstrukturen. Eine 50cm lange Schräge wird bei 100Hz (Wellenlänge 3,4m) nur sehr wenig Wirkung zeigen – Die Schräge müsste eher 3,4m oder größer sein!

**Bei gegebener Raumgeometrie werden Absorber so angebracht, dass alle ersten störenden Reflexionen absorbiert werden.**

Das Thema Absorber werden wir in einer späteren Ausgabe noch genauer aufgreifen. Soviel sei jedoch jetzt schon gesagt: ein Noppenschaum an der Wand reduziert störende Reflexionen nicht wirklich zufriedenstellend, auch wenn bereits mit einer hörbaren Verbesserung zu rechnen ist. Ein effektiver Absorber sollte auch die Frequenzen absorbieren können, die zu den gefürchteten Kammfiltern führen. Ohne genauer darauf einzugehen, sollte ein Absorber mindestens ein Achtel der zu absorbierenden Wellenlänge haben, um wirkungsvoll Reflexionen unterdrücken zu können. Das bedeutet, dass ein Absorber umso dicker werden sollte, je später eine Reflexion auftritt. Im Falle von 5ms Verzögerungszeit ist eine Reflexion ab 100Hz aufwärts kritisch (siehe Kammfilter). Die Wellenlänge einer 100Hz Schwingung beträgt 3,4m, ein Achtel davon ist etwa 43cm. Für eine Reflexion, die nach 2ms eintrifft, ist 250Hz die kritische Frequenz. Dessen Wellenlänge beträgt 1,36m, ein Achtel davon 17cm. Man sieht also, dass Absorber schon eine gewisse Dicke haben müssen, um wirklich wirkungsvoll gegen Reflexionen zu wirken.

## TIPPS!

### Reflexions-Regeln:

- Reflexionen gehorchen der Regel „Einfallswinkel = Ausfallswinkel“
- Wände und Fenster so anordnen, dass die Reflexionen vom Abhörpunkt weggeleitet werden.
- Fenster sollte nach unten geneigt sein, um Reflexionen in Richtung Boden zu lenken. Fenster, die nach oben geneigt sind, reflektieren sehr störend das Licht der Deckenbeleuchtung.
- Absorptive Oberflächen nicht zu dünn und nicht zu klein wählen, damit sie ausreichend Wirkung zeigen können.
- Alle Lautsprecher in der Reflexionsplanung mit einbeziehen (auch Surrounds).
- Reflexionen im Haas-Bereich (um 17ms) stören nicht.
- Diffusoren können Reflexionen so zerstreuen, dass sie nicht mehr störend wirken.

## Fach-Chinesisch

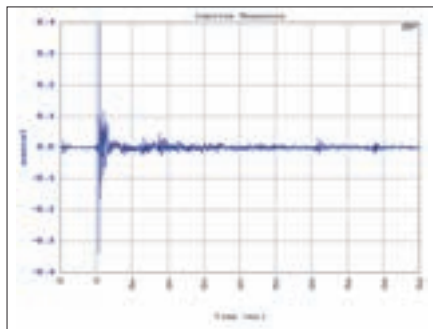
### ITD-Gap

Dieser Fachbegriff aus der Akustik bedeutet „Initial Time Delay Gap“, also auf Deutsch: Die zeitliche Lücke, zwischen Direktsignal und erster eintreffender Raumreflexion. Die Reflexion am Mischpult wird nicht mit einbezogen.

### RFZ

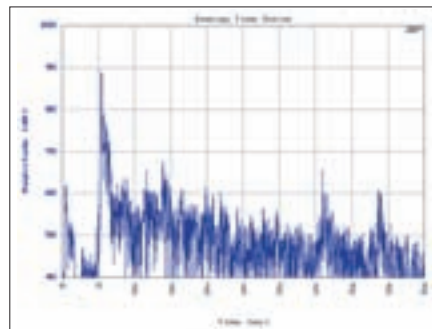
Die „Reflection Free Zone“ oder auf Deutsch „reflexionsfreie Zone“ ist ein Bereich um den Abhörpunkt herum, in dem keine störenden ersten Reflexionen auftreten sollten.

Innerhalb der RFZ ist das ITD-Gap einzuhalten.



**Impulsantwort der Abhöre am Abhörpunkt in einem akustisch ausgebauten Studio.**

**Auch bei Absorbern gilt, dass deren Oberfläche im Bereich der Wellenlänge liegen muss, damit sie wirksam werden.** Ein Absorber mit einer Quadratmeter Oberfläche wird bei einer 100 Hz Schwingung (Wellenlänge 3,4 m) nicht viel Wirkung bezüglich der Reflexionsunterdrückung zeigen können, selbst wenn die Dicke des Absorbers stimmt. Die Schallwelle sollte sich nicht um den Absorber beugen können –



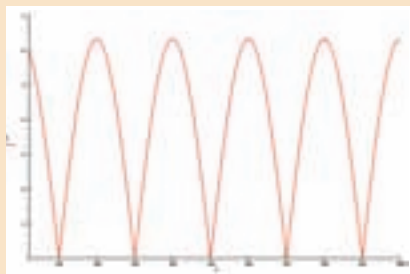
**Energiediagramm der Abhöre am Abhörpunkt in einem akustisch ausgebauten Studio. Man sieht gut, dass nach der ersten Spitze (Direktsignal) erst ab 7 ms Reflexionen kommen, die jedoch um mehr als 20 dB (100 Mal weniger Energie!) leiser sind, als das Direktsignal.**

daher sollte der Absorber von den Oberflächenmaßen im Bereich der zu absorbierenden Wellenlänge oder darüber liegen.

**Ein Zeitfenster von 10 ms oder mehr sollte als ITD-Gap am Abhörpunkt vorhan-**

## Kammfiltereffekt:

Hierbei handelt es sich um einen Interferenzeffekt, der den Frequenzverlauf eines Signals in Form eines Kammes verändert. Betrachtet man den Frequenzverlauf mit einer linearen Frequenzachse (was für die Praxis tatsächlich eher ungewöhnlich ist), so erkennt man die regelmäßigen Einbrüche und Überhöhungen durch den Kammfiltereffekt. Wird die Frequenzachse jedoch logarithmisch gezeigt, so ist nur noch ein „abstrakter Kamm“ zu sehen, da zu hohen Frequenzen hin die Einbrüche immer dichter zusammen rücken.



**Schematische Darstellung des Kammfiltereffekts auf einer linearen Frequenzachse.**

Der Kammfiltereffekt entsteht, wenn zwei gleiche Signale zeitverzögert aufeinander treffen (Interferenz).



**Schematische Darstellung des Kammfiltereffekts auf einer logarithmischen Frequenzachse.**

Der erste Einbruch bei einem Kammfilter findet statt, wenn das verzögerte Signal genau eine halbe Schwingungsperiode später eintrifft, als das unverzögerte Signal. Bei einer 100 Hz Schwingung zum Beispiel dauert eine ganze Schwingung genau 10 ms. Eine halbe Schwingungsperiode ist entsprechend 5 ms lang.

Würde man nun eine 100 Hz Schwingung durch ein Delay um 5 ms verzögern und mit gleichem Pegel zum Originalsignal mischen, so löschen sich die beiden Signale aus.

In Räumen würde 5 ms Verzögerungszeit einem Umweg von  $5 \text{ ms} \cdot 340 \text{ m/s} = 1,7 \text{ m}$  entsprechen. Trifft also beispielsweise ein 100 Hz Signal direkt von der Ab-

höre am Abhörpunkt ein und eine Raumreflexion hat 1,7 m Umweg, bevor sie auch am Abhörpunkt ankommt, so wird die 100 Hz-Schwingung am Abhörpunkt nur noch sehr schwach zu hören sein. Eine komplette Auslöschung würde in diesem Fall nicht stattfinden, da das verzögerte Signal eine größere Wegstrecke zurückzulegen hat und daher leiser sein wird als das Direktsignal.

Weitere Einbrüche im Frequenzverlauf treten immer dann ein, wenn das verzögerte Signal phasengedreht zum Direktsignal kommt. Berechnen kann man die betroffenen Frequenzen mit Hilfe folgender Formel:

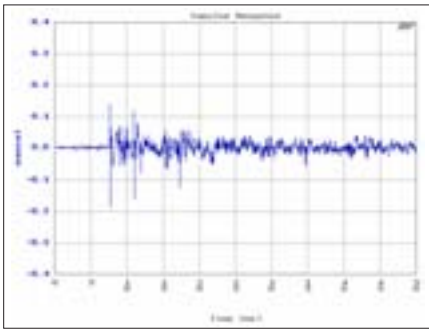
$$f = \frac{x}{\tau} \text{ mit } x = 0,5; 1,5; 2,5 \dots$$

Bei 5 ms Verzögerungszeit wären dies 100 Hz, 300 Hz, 500 Hz, 700 Hz etc.

Überhöhungen im Frequenzbereich gibt es, wenn das verzögerte Signal phasengleich mit dem Direktsignal eintrifft. Die Formel hierfür lautet:

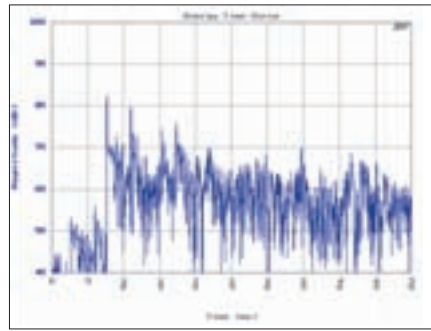
$$f = \frac{x}{\tau} \text{ mit } x = 1; 2; 3 \dots$$

Dies ist mit 5 ms Verzögerungszeit bei 200 Hz, 400 Hz, 600 Hz, 800 Hz etc. der Fall.



**Impulsantwort der Abhöre am Abhörpunkt in einem akustisch nicht behandelten Raum.**

**den sein.** Die Abbildung zeigt zwei verschiedene Darstellungen des Reflexionsverhaltens eines Regieraumes am Abhörpunkt. In der Abbildung hier sieht man die Impulsantwort des Raums am Anhörpunkt. Die erste Impulsspitze ist die Abhöre selber, dann kommt (hoffentlich) lange nichts und ab 10 ms oder später können wieder Raumreflexionen auftreten. In diesem Fall sind keine starken Reflexionen zu sehen. Nur schwache, unbedeutende Reflexionen bei 12, 14 und 36 ms sind zu erkennen. Im Energiediagramm hier oben ist die gleiche Messung als ETC (Energy-Time-Curve) zu sehen. Auf der Y-Achse ist in diesem Fall der Pegel der Impulsantwort zu sehen. Man sieht gut, dass nach dem Direktsignal der Pegel um 20 dB zurückgeht und ein schönes ITD-Gap vorhanden ist. Mit diesen ETC-Messungen ist der Akustiker in der Lage, störende Reflexionen aufzufinden und gezielt zu



**Energiediagramm der Abhöre am Abhörpunkt in einem akustisch nicht behandelten Raum. Man sieht, dass bereits nach 4 ms eine starke Reflexion eintrifft, die nur 2-3 dB unter dem Direktsignal liegt. Weitere starke Reflexionen folgen in kurzen Abständen.**

bekämpfen. Messsysteme sind sogar in der Lage, 3D-ETCs zu erstellen, aus denen man dann sofort sehen kann, aus welcher Richtung eine störende Reflexion kommt, so dann man sie nicht erst lange vor Ort suchen muss.

**Im Vergleich zu den Messungen im Studio sind hier noch die gleichen Messungen in einem akustisch unbehandelten Raum zu sehen.** Man erkennt, dass durch die fehlende akustische Ausgestaltung kein ITD-Gap vorhanden ist und viele Reflexionen stören. Nicht alle Reflexionen können vermieden – aber zerstreut werden. Mit Hilfe von Diffusoren ist es möglich, Reflexionen diffus zu bekommen, sodass

sie nicht mehr als eine starke Reflexionen ein treffen, sondern als eine Menge von relativ schwachen Einzelreflexionen. Das Thema Diffusoren greifen wir ebenfalls in einer späteren Ausgabe des Recording Magazins umfassender auf. In der Regel werden Diffusoren an der Rückwand eines Regieraumes angebracht, um alle dorthin gelenkten Reflexionen zu zerstreuen. Zu viele Diffusoren sind auch nicht unbedingt sinnvoll, denn wie sagte mal ein Akustiker „Diffuse it or confuse it?“

**Am Ende ein Hinweis an alle Do-it-yourself-Akustiker:** Alle Messungen wurden mit einem TEF20 der Firma Gold-Line durchgeführt. Ohne ein entsprechendes Messsystem ist die gesamte Raumakustik ein Blindflug und man kann nur Teile berücksichtigen und richtig machen. Obwohl hier praktische Hinweise für die Ausgestaltung der Raumakustik gegeben werden, die direkt aus der Praxis der Akustiker stammen, wird dennoch die Hilfe von professionellen Akustikern empfohlen, da nur diese alle Aspekte des jeweiligen Raumes richtig einschätzen und berücksichtigen können und somit zu einem wirklich befriedigenden Ergebnis kommen.



Der Autor  
**Andreas Friesecke**

Audio Engineer und Fachbuchautor. Als Dozent unterrichtet er an der SAE München u.a. Pegelrechnen, Filmtone und Lautsprechertechnik.

# Kostenlose Kleinanzeigen

Jetzt neu:



- + Platz für Fotos
- + Aktuelle Übersicht Gebrauchtpreise
- + Fundierte Testberichte
- + Glossar mit Fachbegriffen

Hier werden Musiker fündig:

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

music  
gear.de