

## **Vorwort:**

### **In der Hi-Fi Branche wird mehr unnötiges Geld ausgegeben als in jeder anderen Branche!**

Warum ist das so? Diese Frage ist leichter zu klären als man vielleicht vermutet..

Der gewöhnliche Hi-Fi Kunde hat meistens sehr wenig Hintergrundwissen, was Elektrotechnik und Akustik angeht. Die meisten Vertreter der Branche sind darüber nicht unglücklich, da so sehr viele Produkte angeboten werden können, deren Nutzen eher im Bereich Voodoo anzusiedeln sind. Der Kunde glaubt dem „Testbericht“, dem „kompetenten“ Kommentar des „erfahrenen“ Händlers, kauft die gewünschte Komponente und ist nachdem er die teure Komponente in seine Kette eingebaut hat...enttäuscht!

**Die meisten „Hi-Fi Gurus“ haben nicht das nötige Hintergrundwissen über Akustik.** Begriffe wie Hallradius, Kammfilter und Nachhallzeit sind oftmals entweder nicht bekannt oder es ist nur gefährliches Halbwissen vorhanden, das dann verkäuferisch gut verpackt wird. Der normale Musik oder Kinofreund ist hier normalerweise völlig hilflos und ausgeliefert.

Dieser Text hat nicht den Anspruch der Vollständigkeit oder das Ziel aus dem Leser einen Akustiker zu machen. Er soll vielmehr sensibilisieren, helfen zu verstehen, dass **die Akustik des Hörraumes die wichtigste Komponente der Wiedergabekette darstellt** und wie viele Fehler schon bei der Wahl des Hörraumes vermieden werden können.

Des Weiteren soll dem Leser klargemacht werden, dass es völlig sinnlos ist, eine teure Wiedergabekette in einen Raum zu stellen, der akustisch nicht die notwendigen Voraussetzungen erfüllt. Das notwendige Hintergrundwissen diese Tatsache zu verstehen wird hier verständlich erklärt. **Eine akustische Optimierung ist im Preis-/Leistungsverhältnis immer besser, als der Kauf eines neuen CD-Players oder Lautsprechers!**

Mit dem Wissen, das in diesem Text vermittelt wird ist es ebenfalls möglich, seinen persönlichen „Hifi-Guru“ zu testen, um auf diese Weise sehr schnell herauszufinden, ob hier nur verkäuferische oder auch fachliche Kompetenz vorhanden ist.

Es wird dringend empfohlen, die raumakustischen Grundlagen aufmerksam durchzulesen, damit die weiteren Kapitel verstanden werden können.

© Michael Schorpp, Hifi Alt, Schifferstadt 2003

## **Raumakustische Grundlagen**

- 1.1. Raummoden**
- 1.2. Flatterecho**
- 1.3. Reflexion**
- 1.4. Nachhallzeit**
- 1.5. Diffusschall und Direktschall**
- 2. Der Hörraum**
  - 2.1. Symmetrie**
  - 2.2. Weg von der Wand**
  - 2.3. Bässe**
- 3. Verbessern der Akustik vorhandener Räume**
  - 3.1. Grundsätzliches**
  - 3.2. Bücherregale**
  - 3.3. Pflanzen**
  - 3.4. Vorhänge, Teppiche & Co.**
  - 3.5. Akustikputz**
  - 3.6. Spezielle Absorber**
    - 3.6.1. Helmholtz**
    - 3.6.2. Plattenschwinger**

- 3.6.3. Breitbandabsorber
- 3.6.4. Noppenschäumstoff & Co.
- 3.7. Diffusoren
  - 3.7.1. Grundsätzliches
  - 3.7.2. Schroeder-Diffusor
- 3.8. Wenn der Raum nicht verändert werden kann
- 3.9. Der Raum soll verändert werden
- 4. Bau eines Hörraumes
  - 4.1. Abmessungen
  - 4.2. Geometrie
  - 4.3. LEDE
  - 4.4. Symmetrie
  - 4.5. DEDE
  - 4.6. Aufstellung der Lautsprecher und Sitzposition bei Stereo-Wiedergabe
  - 4.7. Aufstellung der Lautsprecher und Sitzposition bei Mehrkanal-Wiedergabe

### 1.1. Raummoden

Die „stehende Welle“ ist eine der bekanntesten Begriffe in der Raumakustik.

Eine stehende Welle entsteht, wenn eine Schallwelle auf eine senkrecht stehende Wand trifft und von dieser reflektiert wird. Der eingehende Schall und der reflektierte Schall addieren und überlagern sich.

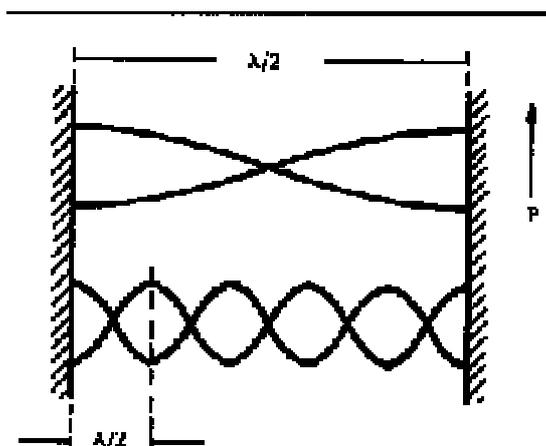


Abb.1) Zwei parallele Wände, die den Abstand  $\lambda/2$  und  $\lambda/4$  haben. Die Welle mit der Wellenlänge  $\lambda$  wird hin und her geworfen.

Wenn nun zwei parallel zueinander stehende Wände im Raum vorhanden sind (was meistens der Fall ist), die im Abstand der halben oder viertel Wellenlänge voneinander entfernt sind (z.B. bei 40Hz einen Wandabstand von 4,3m oder 2,15m), geschieht das gleiche auch bei der gegenüberliegenden Wand. Die Schallwelle wird von einer Wand zur anderen reflektiert, ohne nennenswert an Druck zu verlieren.

Die Frequenz wird lauter als die höheren Frequenzen, da sie nicht abgebaut wird, der Bassbereich wird als „brummig“ und „wummernd“ empfunden.

Falls der Raum nun ganzzahlige Wandverhältnisse hat wird eine bestimmte Frequenz drei mal lauter als alle anderen Bassfrequenzen. Hat der Raum z.B. die Abmaße Länge 10m, Breite 5m und Höhe 2,5m wird die Frequenz 68,8 Hz um das dreifache(!) überhöht!

Ganzzahlige Raumverhältnisse sind also unbedingt zu vermeiden!

Die Raummoden sind ebenfalls dafür verantwortlich, dass sich der Baß im Raum nicht gleichmäßig verteilt. Sie werden sicher schon bemerkt haben, dass sich der Bassschalldruck je nach Position im Raum stark verändert. In Wandnähe ist der Schalldruck größer, in der Mitte des Raumes ist der Druck für gewöhnlich kleiner. Die Wand lässt keine Luft hindurch. Das heißt, dass die Luftgeschwindigkeit an der Wand null ist. Dadurch entsteht hier ein Druckmaximum. Die Energie des Schalls wird also immer von Geschwindigkeit in Druck und umgekehrt umgewandelt.

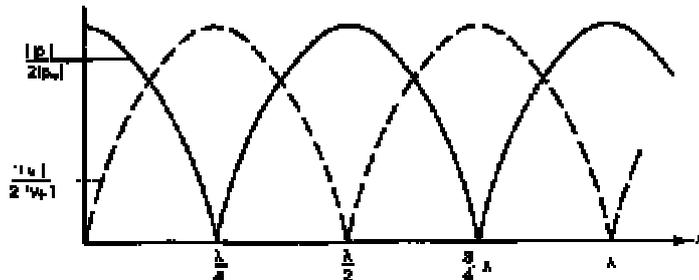


Abb.2) Durchgezogene Linie: Druck, gestrichelte Linie Geschwindigkeit  
 Druckmaximum = Geschwindigkeitsminimum  
 Druckmaximum immer an der Wand (zuviel Bass)  
 Druckminimum bei halber Wellenlänge Abstand von der Wand

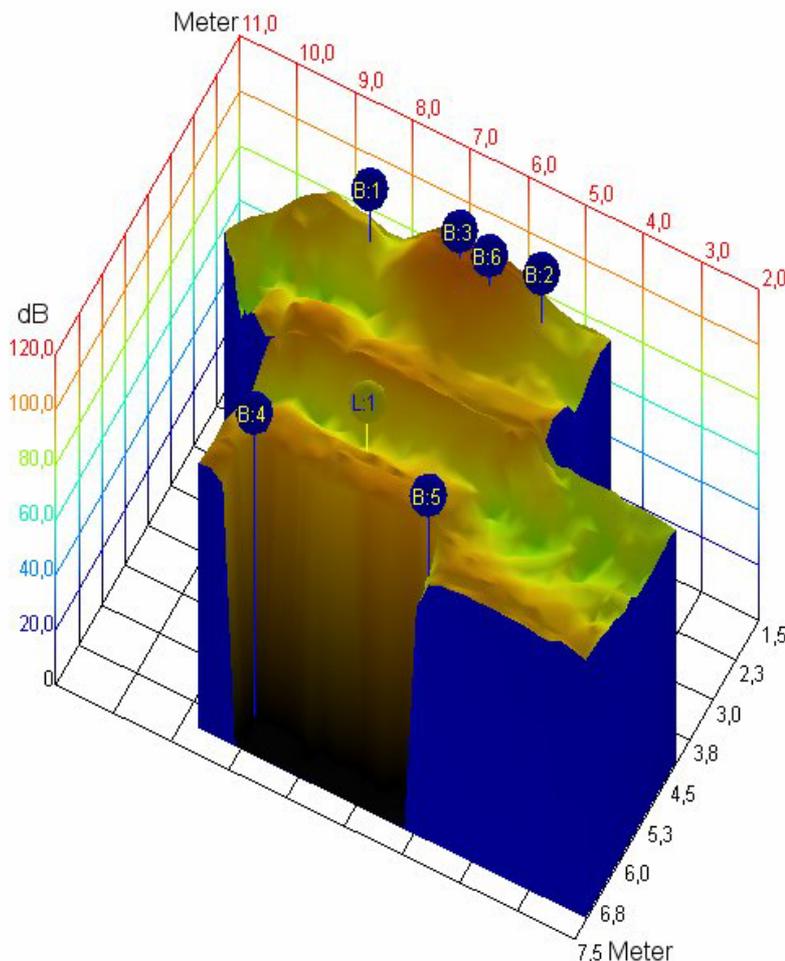


Abb.3) Schalldruckverteilung in einem realen Raum

- |     |                      |     |                      |
|-----|----------------------|-----|----------------------|
| L:1 | Hörplatz             |     |                      |
| B:1 | Lautsprecher links   | B:2 | Lautsprecher rechts  |
| B:3 | Centerspeaker        | B:4 | Surroundlautsprecher |
| B:5 | Surroundlautsprecher | B:6 | Subwoofer            |

Sie sehen also, dass man bereits bei der Planung der Raumgeometrie sehr sorgfältig zu Werke gehen muss!

## 1.2. Flatterecho

Ein Flatterecho ist ein ähnliches Phänomen wie die stehende Welle nur bei höheren Frequenzen.

## 1.3. Reflexion

Trifft eine Schallwelle auf eine ebene Fläche, die groß im Verhältnis zu ihrer Wellenlänge ist, so wird sie reflektiert. Hierfür gilt - genau wie in der Optik - das bekannte Gesetz Einfallswinkel = Ausfallswinkel, das besagt, dass die unter einem Winkel  $\alpha$  auf die Wand treffende Welle mit einem Winkel  $\alpha$  - wieder reflektiert wird. Schall verhält sich hier also wie ein Strahl.

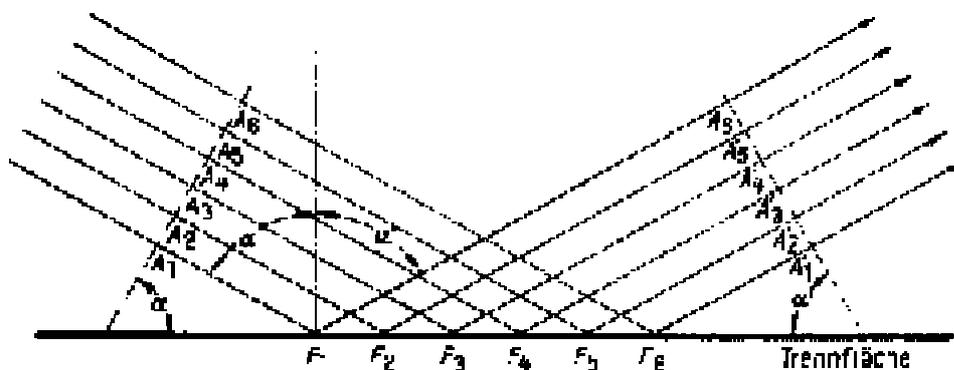


Abb.4) Schall trifft auf eine Wand und wird reflektiert.

Je nach Material der Wand sind die Reflexionen allerdings nicht mehr mit dem eintreffenden Schall identisch. Vielmehr reflektieren verschiedene Wandmaterialien verschiedene Frequenzen unterschiedlich gut. Beispielsweise reflektiert eine harte Steinwand oder Glas den eintreffenden Schall fast verlustlos, während eine mit Dämpfungsmaterialien bespannte Wand hohe Frequenzen dämpfen wird.

Die Eigenschaft eines (Wand-)materials, nicht die gesamte Schallenergie zu reflektieren, sondern nur einen Teil, wird mit dem Absorptionsgrad  $\alpha$  beschrieben. Der Absorptionsgrad eines Materials, das keinen Schall reflektiert, sondern alles absorbiert, ist  $\alpha = 1$ ; für eine verlustfrei reflektierende Wand wäre  $\alpha = 0$ . Für reale Materialien kann der Absorptionsgrad also Werte zwischen 0 und 1 annehmen.

Jedes Material hat seine eigene frequenzabhängige Absorptionskurve. Der vielbeschriebene Noppenschäumstoff hat beispielweise keinerlei Dämpfungswirkung im unteren Frequenzspektrum. Seine Dämpfung beginnt erst ab ca.1000 Hz! Es ist also sinnlos, wahllos Dämpfungsmaterialien im Raum zu verteilen, ohne deren Absorptionskurve zu kennen!

Material	m <sup>2</sup> /kgm <sup>-2</sup>	Oktavmittenfrequenz/Hz					
		125	250	500	1000	2000	4000
12mm Holzfaserakustikplatte 50mm Wandabstand		0,3	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6
15mm Polyurethanschaum (Moltopren) auf starrer Wand	0,4	0,08	0,22	0,55	0,7	0,85	0,75
15mm Filz aus organischen Fasern auf starrer Wand		0,08	0,18	0,38	0,72	0,75	0,78
50mm Mineralwollefilz ohne Wandabstand, auch mit 1mm dickem Lochblech abgedeckt, Lochflächenanteil 40 %	3,0	0,2	0,6	0,9	1,0	0,98	1,0
20mm Mineralwolleplatten ohne Wandabstand	2,5	0,05	0,15	0,65	0,95	1,0	1,0
25mm Holzwolleleichtbauplatte	11,0	0,04	0,13	0,5	0,75	0,6	0,7
5mm Sperrholzlochplatte, Lochflächenanteil 15 % mit 20 mm dicken Steinwolleplatten hinterlegt		0,1	0,18	0,4	0,8	0,75	0,6

Abb.5) Beispiele für Absorptionsgrade verschiedener Materialien

## 1.4. Nachhallzeit

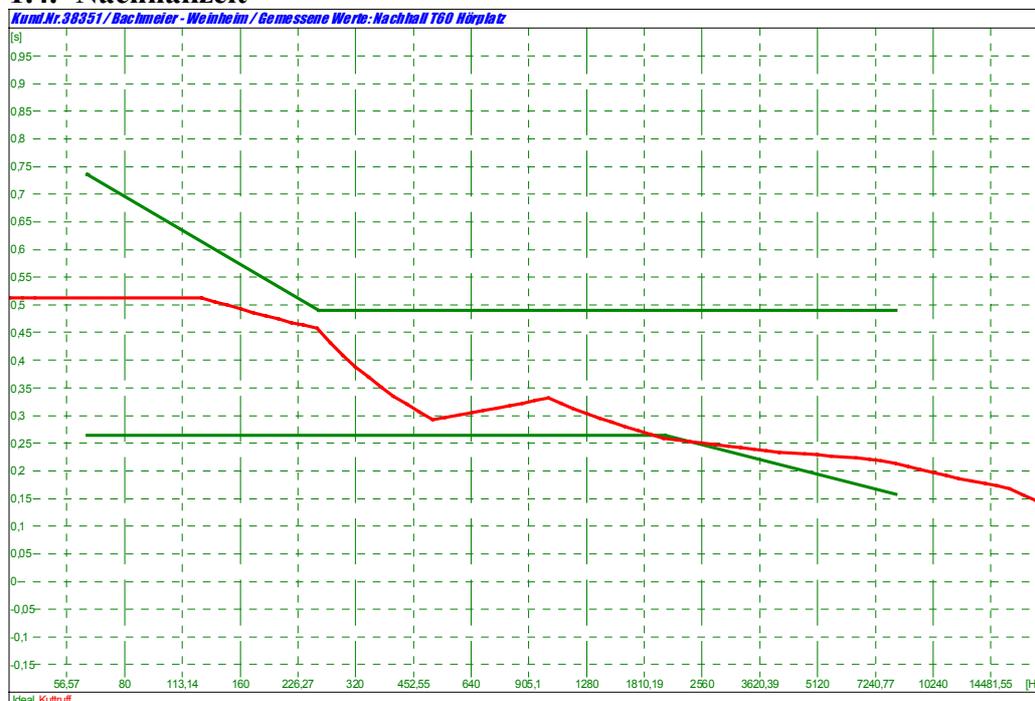


Abb.6) Toleranzgrenze für die Nachhallzeit in Hörräumen mit einer realen Kurve

Die Nachhallzeit ist die wichtigste Größe der Raumakustik. Sie definiert die Zeit, die nach Abschalten der Schallquelle benötigt wird, bis der Schalldruck um 60 dB abnimmt. Sie ist frequenzabhängig, d.h. jede Frequenz hat ihre charakteristische Nachhallzeit in einem bestimmten Raum. Sie ist abhängig von den verwendeten Materialien, die im Raum vorhanden sind.

Bezugnehmend auf den Schallabsorptionsgrad, der in 1.2 erläutert wurde ist das leichter zu verstehen. Nehmen wir Beispielsweise den 15mm Filz aus organischen Fasern aus Abb.5.

Hier sehen wir, dass bei 125 Hz nahezu keine Absorption vorhanden ist. Je höher die Frequenz steigt, desto besser wird der Absorptionsgrad.

Wenn nun ein Schallereignis in einem Raum in dem die Wände mit Filz gedämmt wurden stattfindet, werden die oberen Frequenzen stark bedämpft, die unteren Frequenzen jedoch nur

sehr wenig. Das führt dazu, dass der Nachhall im Bassbereich sehr viel länger ist, als im Hoch/Mitteltonbereich, da der Bassbereich schließlich nicht bedämpft wird.

Die Folge ist ein „brummiger“ und unpräziser Bass, da die Energie sehr lange Zeit im Raum bleibt.

Es ist also wichtig, dass alle Frequenzen in ähnlich guter Weise bedämpft werden, damit eine homogene Nachhallzeit entsteht. Die Nachhallzeit muss in einem bestimmten Zeitkorridor liegen (in einem Hörraum zwischen 0,8 und 0,3 Sekunden).

**Eine in der Normkurve liegende Nachhallzeit ist das wichtigste Kriterium für einen gut klingenden Hörraum!**

Leider sind die meisten Wohnzimmer nur sehr schwach bedämpft, da in der modernen Innenarchitektur sehr schallharte Materialien Verwendung finden. Fliesen, viel Glas und wenige Einrichtungsgegenstände! Sie können die Nachhallzeit Ihres Raumes ungefähr abschätzen, wenn sie an Ihrem Hörplatz in die Hände klatschen. Hört es sich sehr hallig an und sind sogar Flatterechos zu hören, wird es sehr schwierig, eine gute Wiedergabe in Ihrem Hörraum zu realisieren.

### 1.5. Diffusschall und Direktschall

Der Direktschall ist derjenige Schall, der den direkten Weg vom Lautsprecher zum Hörer nimmt, also als erste Wellenfront vom Lautsprecher eintrifft. Der Diffusschall oder Raumschall ist der Schall, der bei seinem Eintreffen beim Hörer bereits eine oder mehrere Reflexionen erfahren hat. Der Direktschall nimmt mit zunehmender Entfernung von der Schallquelle ab und bildet das sogenannte Direktschallfeld oder Freifeld. Sitzt man also weiter vom Lautsprecher weg, wird der Einfluss des Raumes immer größer!

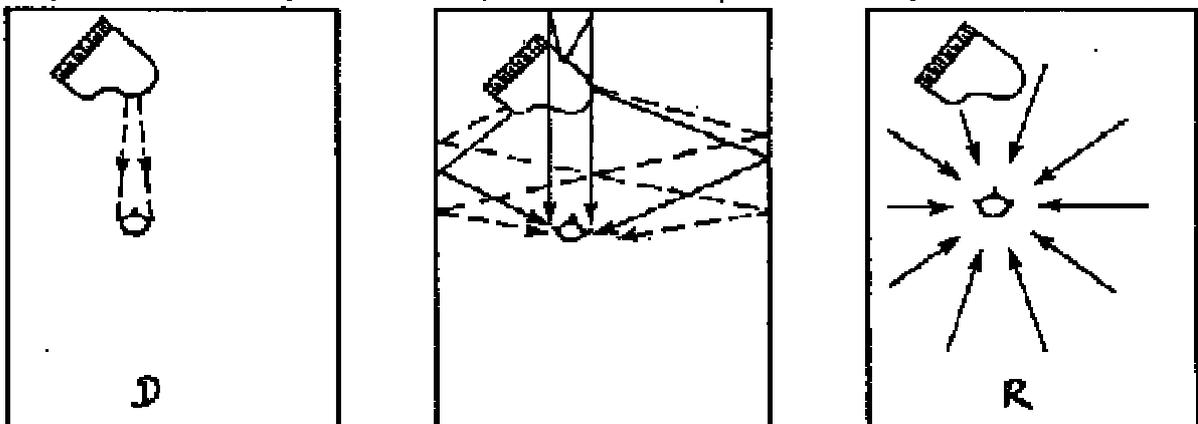


Abb.7) Direktschall und Diffusschall

### 1.6. Hallradius

Der Hallradius ist der Radius um die Schallquelle herum, auf dem der Direktschall und der Diffusschall die gleiche Lautstärke haben.

In einem sehr halligen Raum ist der Hallradius sehr klein, in einem trockenen Raum sehr groß.

Sitzt man also in einem halligen Raum weit vom Lautsprecher weg, sitzt man wahrscheinlich außerhalb des Hallradius. Das hat zur Folge, dass mehr Diffusschallanteile am Ohr ankommen, als Direktschallanteile. Die Ortung des Schallgeschehens ist so nicht mehr möglich. Die Sprachverständlichkeit beispielsweise ist in einem solchen Fall extrem schlecht. Geht man nun näher an den Lautsprecher heran, und kommt in den Hallradius, wird die Ortung immer besser.

## 1.7. Kammfilter

Kammfiltereffekte kann man beobachten, wenn identische Schallanteile zeitversetzt am Ohr ankommen. Sie beruhen auf der unterschiedlichen Phasenlage der Direktschallanteile und der zeitversetzt ankommenden, identischen Schallanteile. Eine Auslöschung und Anhebung einzelner Frequenzen ist die Folge.

## 2. Der Hörraum

### 2.1. Symmetrie

Ein grundsätzliches Kriterium sollte jeder Raum erfüllen: Symmetrie!

Wird der linke Lautsprecher beispielsweise frei aufgestellt, der rechte jedoch von der Rück- und der Seitenwand in seiner Schallabstrahlung begrenzt, wird der rechte Lautsprecher ein völlig anderes Klangbild haben, als der linke. Der rechte Lautsprecher ist sogar um 3 dB lauter als der Linke! Stereoortung adé, her mit dem Balanceregler und dem Equalizer...!

In Abb.7 ist zu erkennen, dass die vom linken Lautsprecher abgestrahlten Schallwellen, die den gleichen Abstrahlwinkel haben wie die des rechten einen sehr viel längeren Weg zurücklegen müssen und deshalb später beim Ohr ankommen. Die Ortung wird sich in Richtung des rechten Lautsprechers verschieben. Außerdem bekommt der rechte Lautsprecher einen lautereren Bassbereich, da zwei Begrenzungswände den Bassbereich reflektieren!

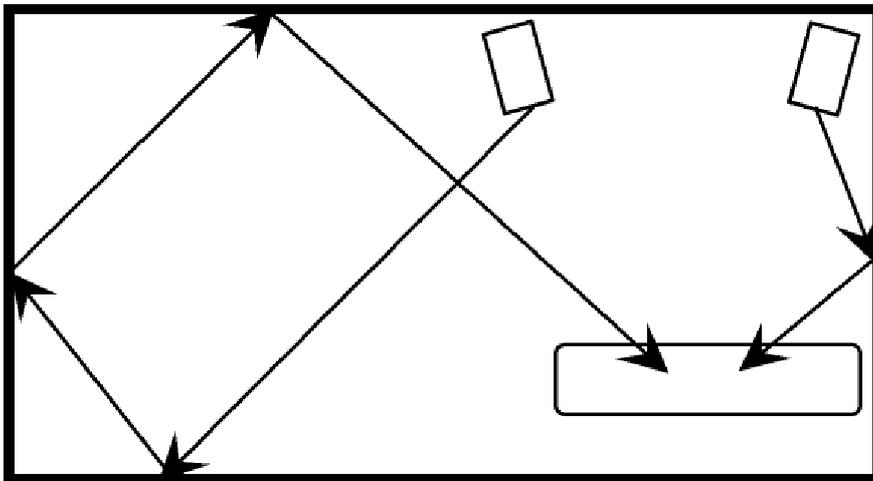


Abb.8) Schlechte Lautsprecheraufstellung

Ein sehr viel besserer Klang ist bei der in Abb.9 gezeigten Aufstellungsvariante zu erzielen. Hier klingt der rechte Lautsprecher wie der Linke, da die Laufzeiten der Reflexionen identisch sind. Im Bassbereich werden beide Lautsprecher gleich klingen. Allerdings sollte man bei dieser Variante unbedingt einen Diffusor hinter der Hörposition aufstellen, damit die jetzt Zeitnahen Reflexionen der Rückwand zerstreut werden.

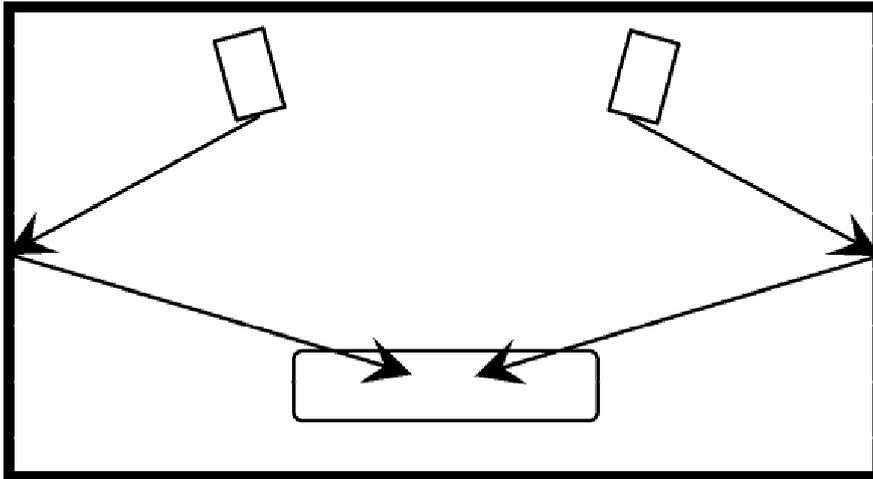


Abb.9) Ideale Lautsprecheraufstellung

Es ist des weiteren darauf zu achten, dass Einrichtungsgegenstände, die sich auf der linken Seite befinden, auch in wenigstens ähnlicher Form auch auf rechts vorhanden sind. In Abb.10 ist das unterschiedliche Reflexionsverhalten eines Fensters und eines Bücherregals schematisch dargestellt. Da der Rechte Lautsprecher einen höheren Reflexionsanteil hat, wird dieser lauter klingen, die Stereobasis verschiebt sich.

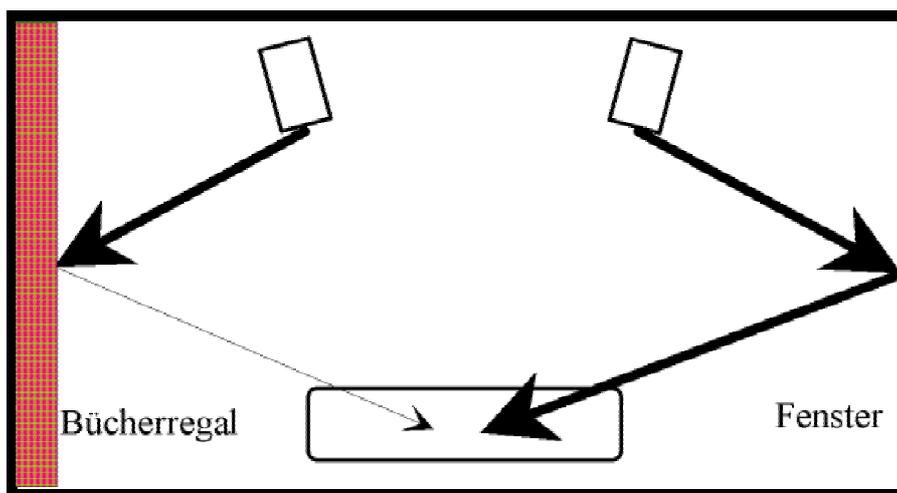


Abb.10) unterschiedliche Reflexion

Die Lautsprecher sollten auf die lange Seite des Hörraumes gestellt werden, die Seitenreflexionen dann einen längeren Weg zurücklegen müssen und so viel später als der Direktschall beim Hörer eintreffen. Das Ohr kann so besser zwischen Direktschall und Reflexion unterscheiden.

## 2.2 Weg von der Wand!

Eine weitere Möglichkeit, den Klang eklatant zu verbessern, ist, die Lautsprecher und auch Hörposition in einiger Entfernung von der Wand zu wählen. Der Grund hierfür ist wiederum die Reflexion.

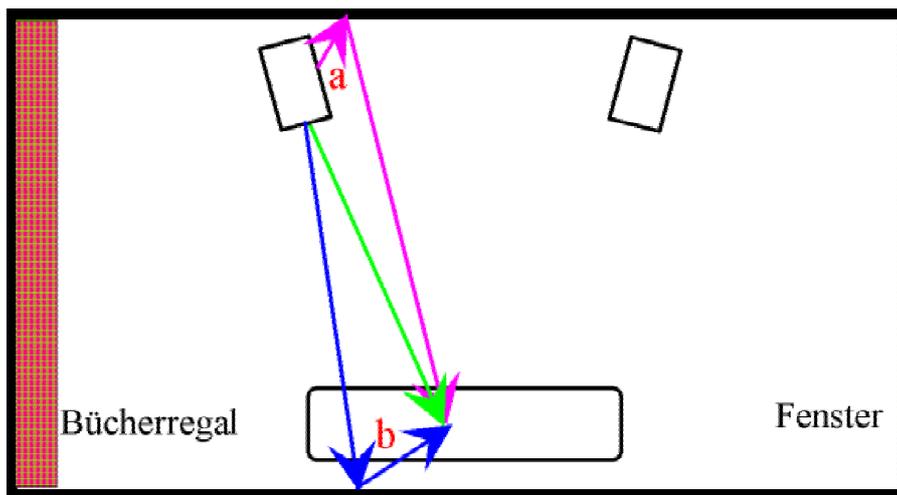


Abb.11) unterschiedliche Reflexionswege

Das menschliche Ohr hat zwar die Eigenschaft, die erste Wellenfront als Richtungsgebende zu erkennen (Haas-Effekt), jedoch kann es das nur in einem begrenzten Zeitkorridor. Sind die Reflexionen (blaue und rosa Pfeile) zu zeitnah am Direktschall (grüner Pfeil) ist eine Unterscheidung der Schallanteile nicht mehr möglich. Die Reflexionen werden dem Direktschall „zugemischt“. Da sie die gleiche Information übertragen, jedoch zeitversetzt am Ohr ankommen, kommt es zu Kammfiltereffekten und einer verstärkten Lokalisation von hinten. Das Klangbild wird diffus, nicht mehr ortbar und „schwammig“.

## 2.2. Bässe

Eine klare und saubere Basswiedergabe ist für die meisten Menschen ein sehr wichtiges Kriterium. Leider sieht die Realität oft eher schwammig und brummig aus. Die Theorie dazu ist im Verlauf dieses Textes erklärt worden.

Wie kann man nun Abhilfe schaffen, um die Wiedergabe wenigstens teilweise zu verbessern?

Als eiserne Regel gilt: viele kleine Bässe sind immer besser als ein Großer!

Ein großer Bass hat den Vorteil, dass er ein größeres Volumen besitzt als seine kleineren Brüder. Dadurch hat man meistens eine niedrigere untere Grenzfrequenz, d.h. der Bass geht „tiefer runter“. Die Bandbreite bei Subwoofern geht hier je nach Bauprinzip und Hersteller von 25Hz (sehr große Bässe mit 38 cm Membranen) – 40Hz (kleine Bässe mit 20 cm Membranen) bei –3 dB. Die Angabe –3 dB ist sehr wichtig, um einen einheitlichen Bezugsrahmen zu bekommen. Viele Hersteller geben die untere Grenzfrequenz an, ohne den Messpunkt anzugeben, an dem diese anliegt. Angaben wie 16 Hz mit einer Membranfläche von 30cm, einem Verstärker von 200 Watt und einer Kantenlänge von 40 cm x 40 cm x 40 cm sind die Folge!

Hier wurde vermutlich der –20 dB Punkt gemeint, da die Angabe von 16 Hz ansonsten eine glatte Lüge wäre... Zu berücksichtigen ist diesem Zusammenhang, dass –20dB bereits nur noch ein Viertel der Referenzlautstärke ist und zur Erreichung einer solchen unteren Grenzfrequenz eine Endstufe mit 1500Watt und eine Membranfläche von mindestens 46 cm notwendig wäre!

Die untere Grenzfrequenz ist kein Qualitätsmerkmal. Sie sagt nichts über die sehr viel wichtigeren Kriterien Schnelligkeit und Klirrverhalten des Subwoofers aus.

Warum nun mehrere Bässe im Raum verteilen?

Bei nur einem Bass im Raum wird der Raum an nur einem Punkt angeregt. Das heißt, die Schallverteilung ist sehr unausgeglichen, es gibt „Bassberge“ und „Basstäler“. Bei der

Platzierung von mehreren Bässen im Raum ist die Energieverteilung sehr viel homogener und der Bass dadurch präziser!. Man sollte allerdings darauf achten, dass die Bässe in etwa gleich weit vom Hörplatz entfernt stehen, da sich sonst Laufzeitunterschiede einstellen und so wieder Kammfiltereffekte auftreten können.

### 3. Verbessern der Akustik vorhandener Räume

#### 3.1. Grundsätzliches

Wie schon eingangs erwähnt, ist es völlig sinnlos, Dämpfungsmaterialien wahllos im Raum zu verteilen. Einen Raum „totzudämmen“ ist die falscheste Herangehensweise, die es gibt!

**Bevor Veränderungen an einem Hörraum vorgenommen werden, ist ein Akustiker zu Rate zu ziehen!**

Ein Laie wird niemals zu einem befriedigenden Ergebnis kommen, da ihm die nötige Erfahrung, das theoretische Hintergrundwissen und natürlich auch die notwendigen Messgeräte fehlen.

Die vorher beschriebenen Anregungen sind grundsätzlicher Natur. Der Leser wird allerdings bereits festgestellt haben, dass bisher auf den grundsätzlich notwendigen physikalischen Formalismus verzichtet wurde. Es würde den Rahmen dieses Aufsatzes sprengen, sämtliche physikalischen Hintergründe so auszuleuchten, dass eine eigenständige akustische Berechnung eines Hörraumes möglich wäre. Zumal dann immer noch die Erfahrung und das nötige Meßequipment fehlen würde.

Dennoch möchte ich auf die verschiedenen Möglichkeiten der akustischen Korrektur hinweisen, damit der Leser besser bewerten kann, ob der vom „Fachmann“ vorgeschlagenen Weg der Richtige ist.

#### 3.2. Bücherregale

Ein Bücherregal hat zwei mögliche Wirkungen. Es kann sowohl dämpfen als auch Diffusor wirken. Die Dämpfende Wirkung kommt durch die große Masse und den Räumen zwischen den Büchern zustande.

Als Diffusor wirkt ein Bücherregal dann, wenn die Bücher auf eine bestimmte Art ins Regal gestellt werden (Abb.12)

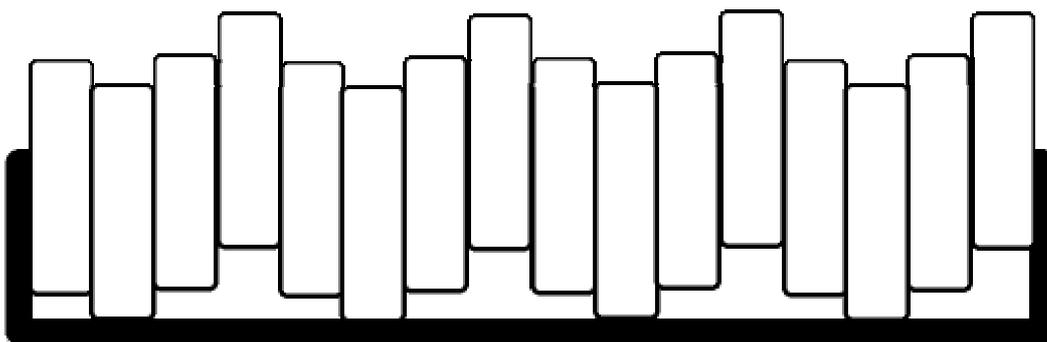


Abb.12 Bücher als Diffusor aufgestellt

Die Aufstellung muss nicht exakt und präzise sein. Wie weit die Bücher aus dem Regal herausstehen und die Abstände und die Dicke der Bücher muss nicht konstant sein. Ein solches Bücherregal kann sowohl an die Wand hinter den Lautsprechern fungieren, als auch als Diffusor hinter der Sitzposition. Zu beachten ist wiederum die Symmetrie, wenn ein Bücherregal links oder rechts vom Lautsprecher steht.

### 3.3 Pflanzen

Pflanzen eignen sich hervorragend als Diffusoren. Durch die unregelmäßige und große Oberfläche haben sie ein gutes Streuvermögen. Auch hier ist der Grundsatz der Symmetrie unbedingt zu beachten.

### 3.4 Vorhänge, Teppiche & Co.

Das akustische Verhalten von Teppichen und Vorhängen ist ähnlich. Natürlich ist das Dämpfungsverhalten abhängig vom Material. Der Schallabsorptionsgrad kann beim jeweiligen Hersteller erfragt werden.

Teppiche eignen sich, um die Primärreflexion (die Reflexion, die als Erste am Ohr ankommt) des Bodens zu dämpfen.

Vorhänge eignen sich, um Fenster zu bedecken, falls diese sich als akustisch störend erweisen sollten.

Grundsätzlich gilt für den Schallabsorptionsgrad: Je dicker und schwerer das Material ist, desto tiefer ist die Frequenz, bei der bereits eine Dämpfung stattfindet. Die Größe der Oberfläche definiert, wie stark die Dämpfung ist.

### 3.5. Akustikputz

Eine neuartige und noch wenig verbreitete Art der Akustischen Dämpfung ist der Akustikputz. Mit ihm ist es möglich, ohne große baulichen Veränderungen die Nachhallzeit drastisch zu verringern.

Je nach Art des Putzes und der aufgetragenen Dicke sind unterschiedliche Schallabsorptionsgrade zu erreichen. Hier gilt unbedingt der Grundsatz: Fragen Sie vor auftragen des Putzes einen Akustiker!

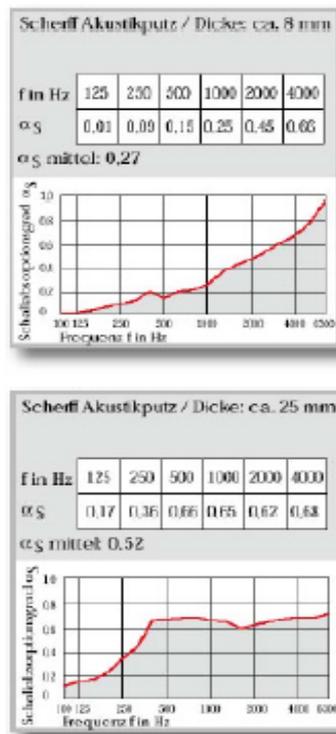


Abb.13) Schallabsorptionsgrade unterschiedlicher Akustikputze

### 3.6. Spezielle Absorber

#### 3.6.1. Helmholtz

Der Helmholtzresonator ist als sog. Bassreflexöffnung jedem ein Begriff. Die Wirkungsweise eines solchen Resonators ist einfach erklärt folgende: Ein Medium hat in einem Rohr eine bestimmte Resonanzfrequenz. Wird diese Resonanzfrequenz angeregt, fängt diese Medium an zu schwingen.

Was beim Lautsprecherbau eingesetzt wird, um den Schalldruck eines Lautsprechers zu erhöhen und die untere Grenzfrequenz zu senken, wird in der Akustik als Schalldämpfungsglied eingesetzt.

Ein Helmholtz ist einfach zu bauen, da er im Grunde ein Kasten mit einem definierten Volumen und einem Loch ist. Auf die Berechnungsformel wird hier verzichtet.

Die Form des Gehäuses ist nicht relevant, so dass wie in Abb.14 zu sehen auch dreieckige Gehäuseformen in Frage kommen. Diese Form ist deshalb so interessant, da Helmholtzresonatoren dort am Besten arbeiten, wo Druckmaxima auftreten (siehe 1.1.) . In den Raumecken ist der Effekt der Resonatoren am höchsten. Ein weiterer Vorteil der Platzierung in den Raumecken ist, dass sie dort am unauffälligsten sind.

Wichtig ist, dass Helmholtzresonatoren nur auf eine Frequenz abgestimmt werden können. Müssen verschiedene Frequenzen bedämpft werden, müssen unterschiedliche Resonatoren in die Ecken. Es ist allerdings möglich, die Gehäuse zu stapeln.

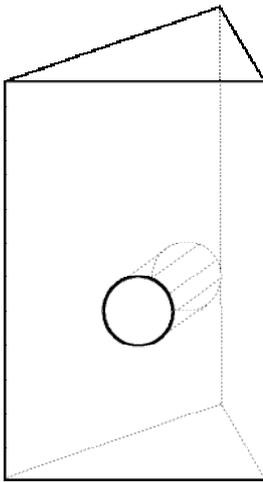


Abb.14) dreieckiger Helmholtzresonator mit runder Öffnung

#### 3.6.2. Plattenschwinger

Plattenschwinger sind grob ausgedrückt Holzkästen. Die Dämpfungswirkung wird dadurch verursacht, dass eine Platte aus einem Material auf einen Holzkasten gebaut wird, deren spezifisches Raumgewicht bekannt ist. Je nach Material dieser Platte ist es möglich, verschiedene Absobtionsgrade zu erzielen.

Auf die Formel zu Berechnung eines solchen Resonators wird verzichtet.

Zu beachten ist, dass wenn ein solcher Resonator einmal berechnet und gebaut ist, er nicht mehr verändert werden darf. Lackieren oder ähnliches ist nicht erlaubt. Fall der Resonator lackiert werden soll, muss das in der spezifische Raumgewicht der Schwingplatte korrigiert werden.



Abb.15) Plattenschwinger

### 3.6.2. Breitbandabsorber

Ein Breitbandabsorber ist ein Plattenschwinger mit einem mit Dämmwolle ausgekleideten Kasten, der aufgesetzt wird.

Ein solcher Absorber ist sehr effektiv, da er ab der Resonanzfrequenz des Plattenschwingers alles absorbiert. Bei sehr halligen Räumen ist dieser meistens die einzige Möglichkeit, ein befriedigendes Ergebnis zu erzielen. Ein Breitbandabsorber hat allerdings, bedingt durch den aufgesetzten Kasten, eine doppelt so große Bautiefe wie der Plattenschwinger.

### 3.6.3. Noppenschaumstoff & Co

Noppenschaumstoff und Pyramidschaumstoff sind sehr effektive Dämpfungsmittel. Mit ihnen muss mit Vorsicht umgegangen werden..

Diese Materialien sind jedoch gerade bei „Hobbyakustikern“ sehr beliebt, da der „Effekt“ meistens sofort hörbar ist und der finanzielle Aufwand für diese Materialien noch überschaubar ist. Zuviel dieser Materialien dämpfen den Raum jedoch „tot“, was genauso falsch ist wie ein zu halliger Raum.

Als Faustregel sollte man sich merken, dass ein Raum niemals ausschließlich mit diesen Materialien akustisch optimiert werden kann, da sie erst abhängig von der Stärke des Materials ab ca. 400Hz bzw. 1000Hz beginnen effektiv zu dämpfen. Wie in Abb.15 zu sehen ist, ist der Absorptionsgrad im Bassbereich bis in den Mitteltonbereich sehr klein.

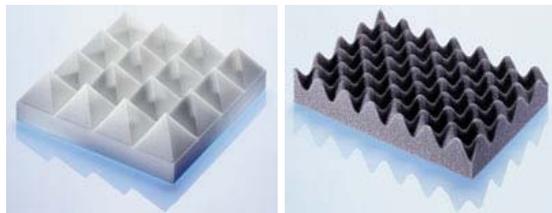


Abb.16) Pyramidschaumstoff und Noppenschaumstoff

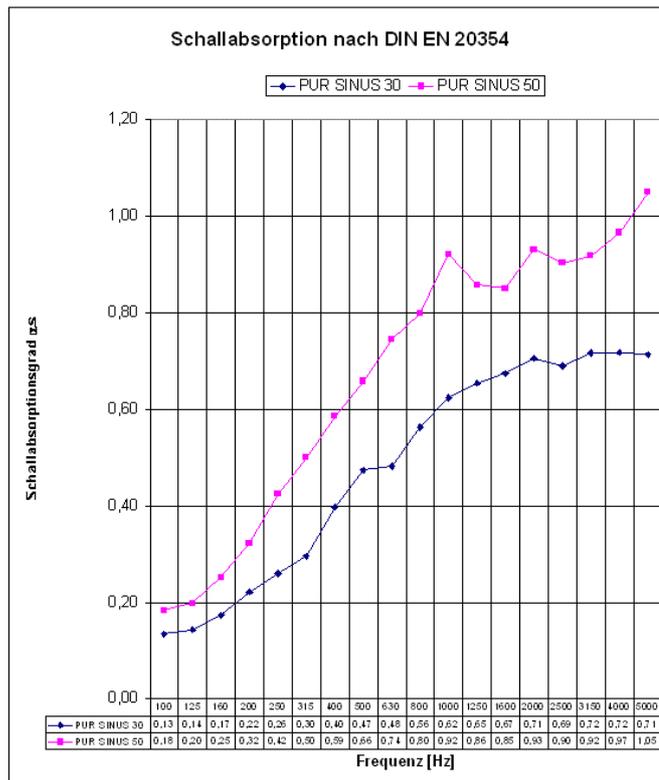


Abb.17) Schallabsorptionskurve zweier Produkte der Fa.MM-Schalltechnik  
 Blaue Linie: 30mm Stärke  
 Violette Linie: 50mm Stärke

### 3.7. Diffusoren

#### 3.7.1. Grundsätzliches

Ein Diffusor soll anders als ein Absorber die Schallenergie im Raum nicht dämpfen sondern verteilen. Mit ihnen soll ein kontrollierter Nachhall erreicht werden. Reflexionen hoher Lautstärke sollen nicht mehr direkt, sondern gebrochen, mit geringerer Energie und aus vielen Richtungen ans Ohr gelangen. Das Material eines Diffusors ist im Grunde irrelevant, woraus sich nahezu unendlich viele Möglichkeiten für den Bau und das Design eines Diffusors ergeben.

#### 3.7.2. Schroeder Diffusor

In den 70er Jahren wurden die sog. Schroeder Diffusoren konzipiert. Diese Diffusoren ermöglichen eine breite Streuung bei unterschiedlichen Frequenzen. Diese Diffusoren werden an die Rückwand und/oder an die Seitenwand des Hörraumes angebracht (Symmetrie beachten!). Der Bau und die Berechnung eines solchen Diffusors übersteigt die Fähigkeiten eines Laien bei weitem, so dass auch hier die Formeln nicht abgedruckt werden.

Allerdings werden sehr viele Abbildungen gezeigt, um deutlich zu machen, dass sich solche Diffusoren in jedes Raumambiente integrieren lassen.

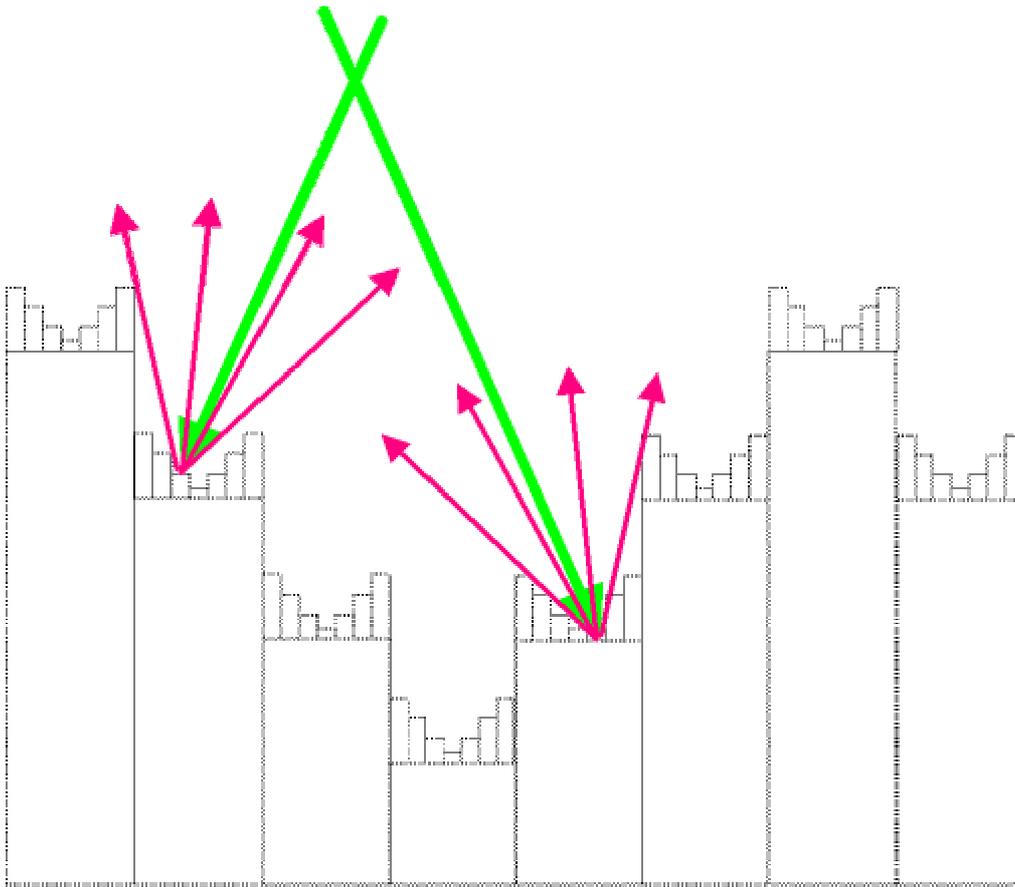
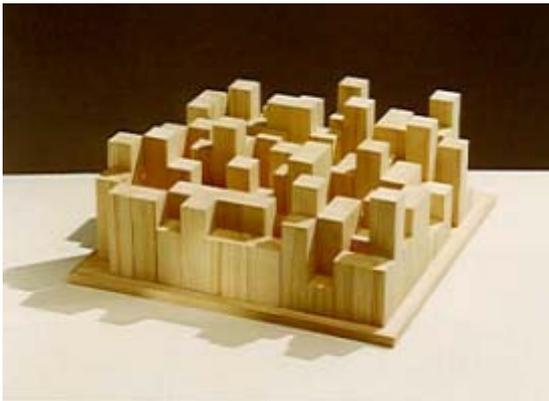
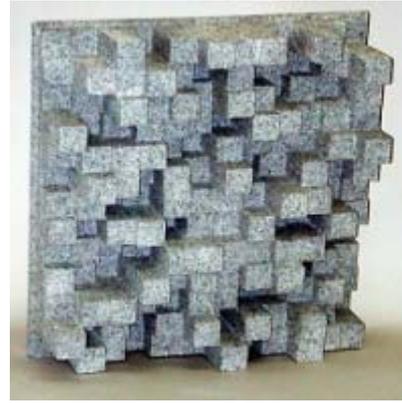
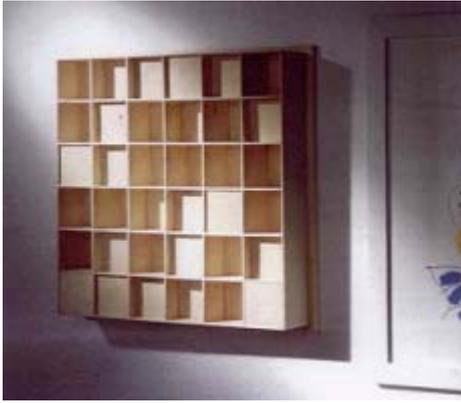


Abb.18 Prinzipieller Aufbau und Wirkungsweise eines fraktal erweiterten Schroeder-Diffusors

Abb.18 zeigt einen eindimensionalen Schroeder-Diffusor. Die Großen Strukturen sind für die Diffusion tieferer Frequenzen zuständig, die kleineren Strukturen für die Diffusion höherer Frequenzen.

Es folgen Abbildungen einiger Diffusoren:





### 3.8. Wenn der Raum nicht verändert werden kann

Wenn der Raum nicht in geeigneter Weise verändert werden kann, und die Akustik schlecht ist gibt es nur eine befriedigende Lösung:

Der Kauf eines Kopfhörers!

Was hier vielleicht wie ein Scherz anmutet, ist völlig ernst gemeint. Es ist völlig sinnlos, in einen schlecht klingenden Raum eine Wiedergabekette hoher Qualität zu stellen, mit der ernsthaft Musik gehört werden soll. Für die Mehrkanalwiedergabe gilt natürlich das gleiche.

Leider sieht die Realität meistens anders aus. Wenn eine Anlage schlecht klingt wird meistens versucht, mit neuem, meist teurerem Equipment, das Problem in den Griff zu

bekommen. Falls das noch nicht hilft, wird tief in die Voodoo-Kiste gegriffen, was dann eher einen Placebo-Effekt hat.

**Grundsätzlich gilt: In einem schlechten Hörraum ist eine gute Wiedergabe nicht möglich, unabhängig vom Preis dieser Anlage!**

### 3.9. Der Raum soll verändert werden

Wenn die Entscheidung getroffen wurde, den Raum in geeigneter Weise zu verändern, ist es unabdingbar, einen Akustiker zu konsultieren!

Es müssen dann Lösungen erarbeitet werden, die sowohl akustisch also auch innenarchitektonisch akzeptabel sind.

Der Aufwand einer solchen Optimierung ist für jeden Raum individuell festzulegen. Aus diesem Grund ist es nicht möglich, einen Pauschalpreis für Aufwand und Material zu nennen.

Allerdings ist eines sicher: Ab einem Preissegment der Wiedergabekette von €3000.- (Stereo sogar nur €2000.-) ist eine akustische Optimierung absolut notwendig! Die Auswirkung auf die Qualität der Wiedergabe wird die Auswirkung einer neuen, weit teureren Komponente **bei weitem übertreffen**. Meistens ist es sogar sinnvoll, die alten Komponenten zu behalten, und sich nur den Raum optimieren zu lassen. Es ist sehr erstaunlich, wie gut die „alten“ Komponenten plötzlich klingen können.

## 4. Bau eines Hörraumes

### 4.1. Abmessungen

Die Raumabmessungen spielen eine entscheidende Rolle beim Bau eines Hörraumes. Wie bereits eingangs erwähnt, müssen ganzzahlige Raumverhältnisse vermieden werden. Optimale Raumverhältnisse sind folgende:

Raumgröße: >25qm  
Raumproportionen: Breite: 4m  
Höhe: 2,5m  
Tiefe: 7m

### 4.2. Geometrie

Über die Geometrie des Raumes kann man sehr vielen Problemen aus dem Weg gehen. An dieser Stelle kommen die Reflexionen wieder ins Spiel. Die Reflexionen dürfen den Hörer nicht direkt erreichen. Idealerweise sollen die Reflexionen um den Hörplatz herumgeleitet werden. Dies kann man mit in Abb.18 gezeigten, modellhaften Wandgeometrie erreichen. Der Effekt dieser sog. „Westlake“-Anordnung ist, dass keine Wandreflexionen den Hörplatz direkt treffen. Die Winkel sind abhängig von der Raumgröße, von dem Aufstellungsort der Lautsprecher und dem Hörplatz. Die Winkel sind von einem Akustiker zu berechnen. Die Wandmaterialien ergeben sich aus dem Gesamtklang des Raumes. Sie können von Schallhart bis zu offenporig und dämpfend variieren. Allerdings ist Rigips das am häufigsten verwendete Material.

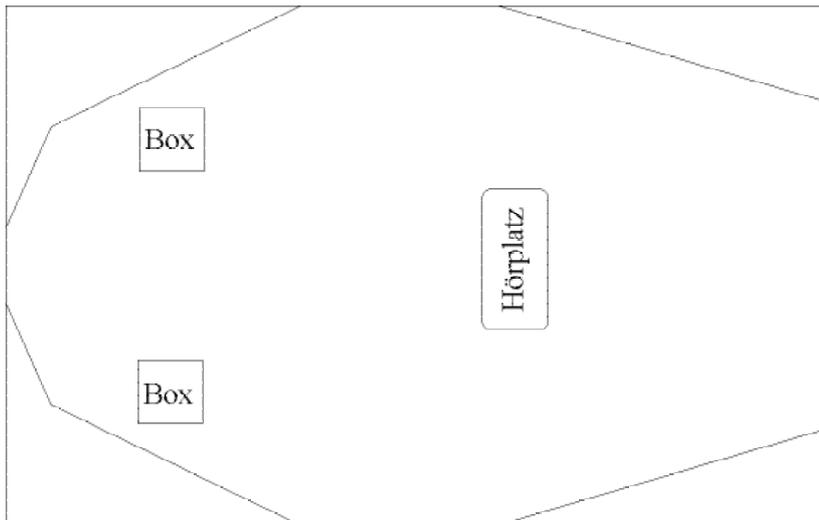


Abb.19) Schematische Skizzierung eines „Westlake“ – Raumes

#### 4.3. LEDE

Das LEDE – Prinzip (Live-End/Dead-End) ist das gängigste Studiobauprinzip. Es sagt aus, dass die Wand hinter den Lautsprechern schallabsorbierend ausgelegt sein soll und die Wand hinter dem Hörplatz schallbrechend.

Hier kommen die vorher beschriebenen Absorber und Diffusoren ins Spiel.

Die Wand hinter den Lautsprechern muss also mit Absorbieren bestückt werden, die die Fläche, die die Absorber einnehmen sollen, und die Fläche, die benötigt wird, um eine ausreichende Diffusion zu erzielen, muss von einem Akustiker berechnet werden. Das Verhältnis von Absorption zu Diffusion definiert die frequenzabhängige Nachhallzeit des Raumes.

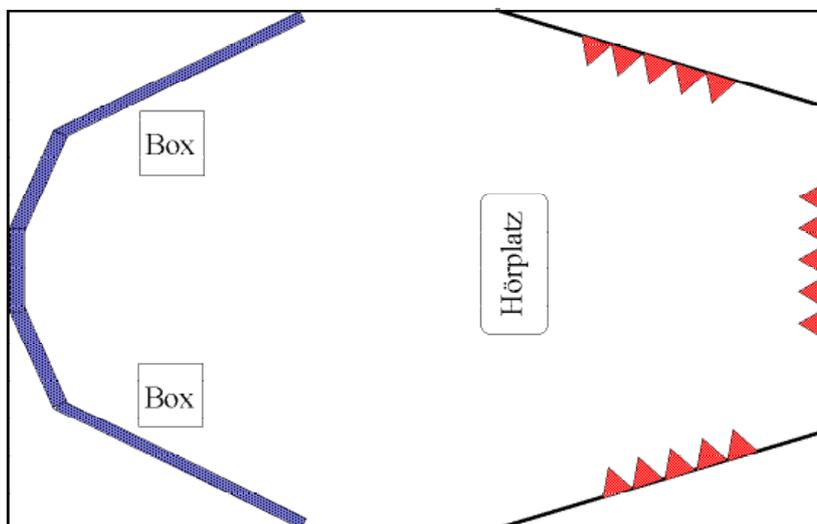


Abb.20) LEDE Prinzip im Westlake-Raum  
Blau: Dämpfungsmaterial  
Rot: Diffusoren

#### 4.4. Symmetrie

Wie schon eingangs erwähnt lebt jegliche Wiedergabe von Symmetrie. Bei der „Westlake“ – Konfiguration gilt das natürlich ebenfalls. Es soll an dieser Stelle nochmals verdeutlicht werden:

**Ohne Symmetrie ist eine gute Wiedergabe nicht möglich!**

#### 4.5. DEDE

In letzter Zeit wird in Zusammenhang mit der Mehrkanalwiedergabe das DEDE – Prinzip (Dead-End/Dead-End) diskutiert. Es besagt, dass die Diffusoren entfallen, da der Raumeindruck nicht durch diese erzeugt werden soll, sondern durch die Surroundlautsprecher. Die DEDE – Anordnung hat Vorteile aber auch Nachteile, sodass die weitere Diskussion spannend bleibt. Falls sich ein Standart ergeben sollte, wird er diesem Text hinzugefügt. Momentan ist die Mehrzahl der Toningenieure jedoch der Meinung, dass das bewährte LEDE – Prinzip das optimale ist.

#### 4.5. Aufstellung der Lautsprecher und Sitzposition bei Stereo-Wiedergabe

Für die Aufstellung der Lautsprecher gibt es Richtlinien:

Basisbreite:	2,0 – 3,0 Meter
Basiswinkel:	60°
Hörabstand:	2m – 1,7 *Basisbreite
Hörzone:	0,8m (Radius in dem sich der Hörer bewegen darf)
Höhe der Lautsprecher:	0,9m – 1,4m
Abstand zu den umgebenen Reflexionsflächen:	0,5m - >1m

#### 4.6. Aufstellung der Lautsprecher und Sitzposition bei Mehrkanal-Wiedergabe

Bei Wiedergabe von Mehrkanaligen Quellen, gilt grundsätzlich das gleiche, wie bei Stereophon Quellen. Allerdings sind hier einige weitere Richtlinien zu beachten.

