

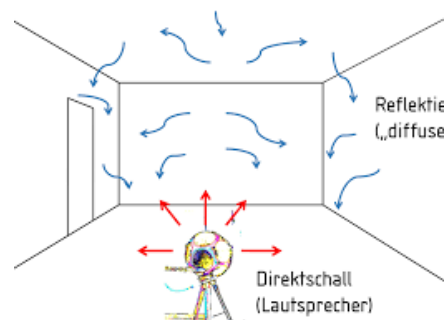


**Keine Angst es gibt fast keinen Physikunterricht!**

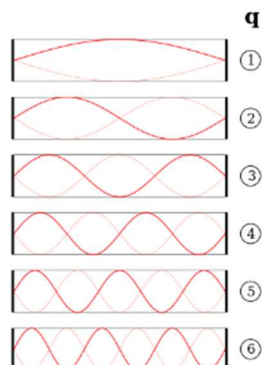
## Behandlung der Raumakustik

Der Hi-Fi-Markt bringt neue leistungsstarke Tools für die Tonwiedergabe und Signalverarbeitung auf den Markt, einige davon haben digitale Akustikautokorrekturfunktionen enthalten. Trotzdem, selbst mit dem effektivsten Soundsystem, wenn die Akustik Ihres Raumes nicht stimmt oder abgestimmt ist, ist es unwahrscheinlich, dass Sie in der Lage sein werden, sein volles Potenzial vollständig zu genießen und auszunutzen. Letztlich werden dadurch Zweifel an der getätigten Investition aufkommen.

**Merke: Das einfache Aufstellen von Lautsprechern und HiFi Komponenten ist oft nicht ausreichend!**



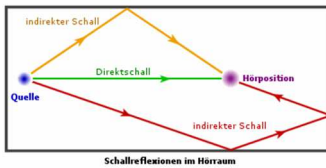
**Merke: Luft schwingt!**



# Basic Acoustic Treatment Steps

## First Reflections Control

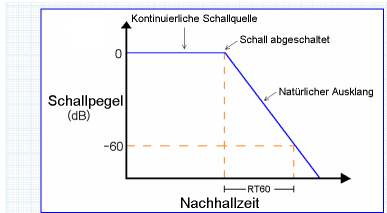
**Erstreflexionen:** Beeinflussen das Stereobild durch Verschieben oder Verbreitern. Die Soundbühne wird verändert = Anteil reflektierter Schalls, der im Anschluss an den Direktschall innerhalb von 15 Millisekunden beim Hörer eintrifft. Danach ist es Nach-hall! Da das menschliche Gehör von frühen Reflexionen noch die Richtung bestimmen kann, tragen sie wesentlich zum Raumeindruck bei. Schall 10ms = 3,4 Meter



## Optimizing Reverberation Time (RT)

### Nachhallzeit RT

Als Nachhallzeit bezeichnet man das Zeitintervall, innerhalb dessen der Schalldruck in einem Raum bei plötzlichem Verstummen der Schallquelle auf einen festgelegten Bruchteil seines Anfangswerts abfällt (Nachhall). = Hände-klatschen!  
 Optimal < 0,3- 0,5 1,5, 3 Sekunden (Konzertsaal)  
 0,3 - 0,6 Sekunden HiFi  
 Tonstudio unter 0,4 Sekunden  
 Außerdem sollte RT im Frequenzbereich stabil und kontinuierlich bleiben zwischen 250 Hz und 4 kHz, um den spektralen Inhalt des Musiksignals nicht zu beeinträchtigen.



## Controlling Sound Field Anomalies

Die zwei meisten Hauptprobleme im Hörraum:

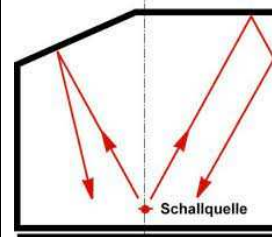
### 1 Flatterechos

#### 2. Raummode

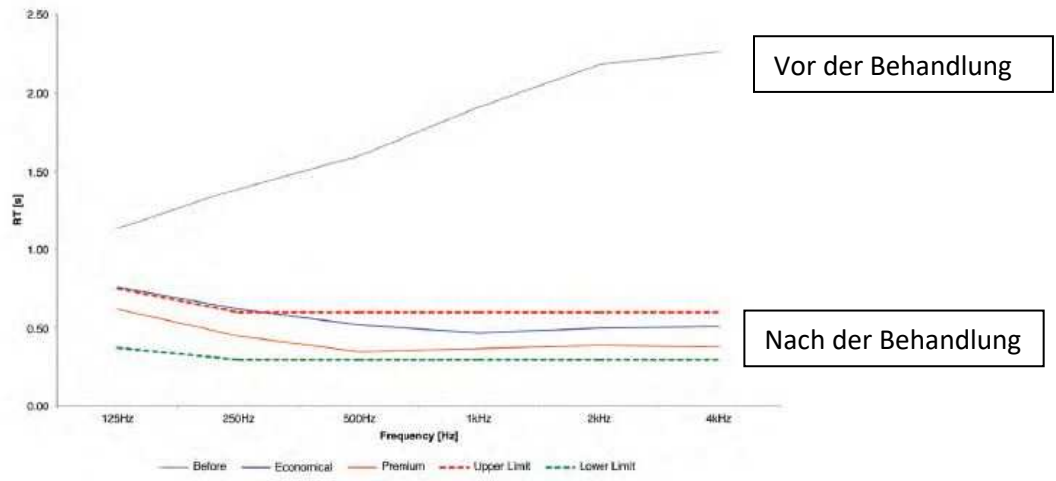
1 Flatterechos sind wiederholte Schallreflexionen, die durch die Ausbreitung von Schallwellen verursacht werden zwischen parallelen reflektierenden Flächen wie Wänden, Boden und Decke. Zu beachten ist, dass durch die Behandlung der Erstreflexionen und der Nachhallzeit Flatterechos und Raummodi besser behandelbar werden.

2. Raummode ist die Eigenschaft der stehenden Schallwelle mit einer Eigenfrequenz.

Kleine Räume wie Hi-Fi-Räume haben normalerweise eine schlechte akustische Reaktion bei niedriger Lautstärke und Erhöhung der Frequenzen aufgrund von Raummoden (Bassdröhnen). Der Niederfrequenzgang kann durch Einbeziehung verbessert werden: Bassfallenlösungen in den Ecken Ihrer Räume, in denen hoher Schall zu hören ist und Druckschwankungen lokalisiert sind. (Druckbauch) (stehende Wellen)

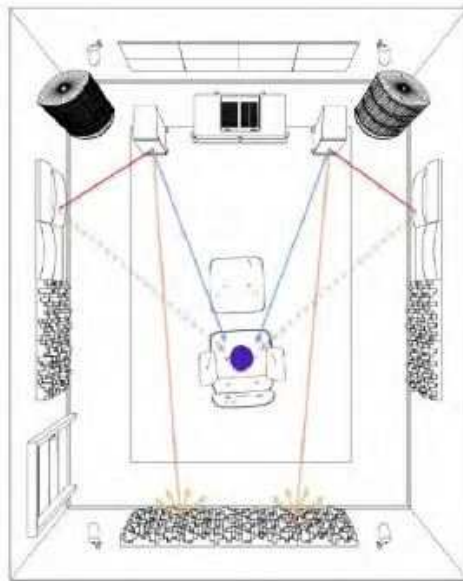


### Beispiel Messungen Nachhall

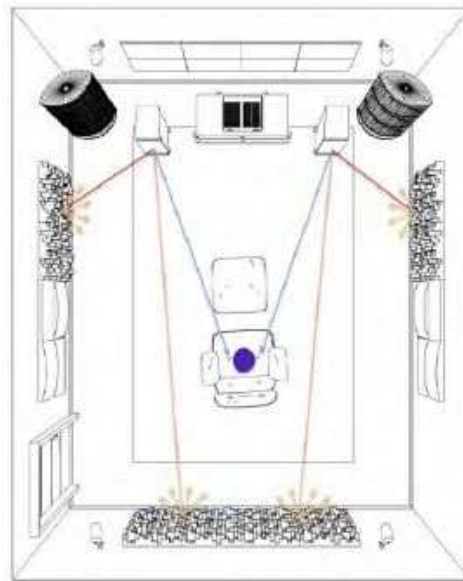


### Umsetzung im Hörraum

Option A  
Absorption Panels in first reflections



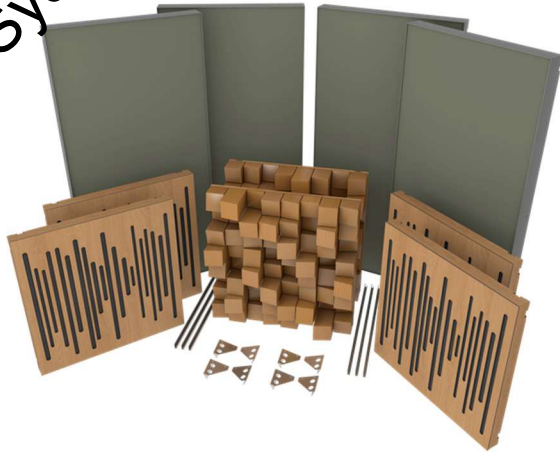
Option B  
Diffusing Panels in first reflections



- Listening Area
- Direct Sound
- Absorbed Reflections
- Early Reflections
- Late Reflections
- Diffused Reflections

## Die 3 Vicoustic Bausteine

### Diffusion



Unter einem Diffusor versteht man in der Akustik ein Bauelement, das einfallende Schallwellen zerstreuen und die unerwünschte Wirkung des ansonsten gleichförmig reflektierten Schalls vermindern soll. Durch Diffusoren werden die Schallwellen sowohl quantitativ, als auch qualitativ im Raum gleichmäßiger verteilt. Wenn die auf diese Weise mehrfach reflektierten Wellen später auf das Ohr treffen, kommen die einzelnen Frequenzen ungeordnet aus unterschiedlichen Richtungen, was die Lokalisation der ursprünglichen Schallquelle erschwert. Dadurch ändert sich der Raumeindruck. Merke: Schroeder Berechnung.

### Bassfallen



Eine Bassfalle ist ein freistehender Schallabsorber, der in der Raumakustik speziell für Schalloptimierung bei tiefen Frequenzen eingesetzt wird. Laut Fachexperten liegen 75% aller Probleme mit Raumakustik in diesem Bereich. Die Frequenz der primären Mode liegt oft bei 60-70 Hz. Merke: Helmholtz-Resonatoren die auftreffende Schallenergie wird in kinetische Energie der schwingenden Masse umgewandelt. Helmholtz-Resonatoren finden im Lautsprecherbau seit langem in Form von Bassreflex-Gehäusen Verwendung.

### Absorption



Die Absorption ist ein Maß für die Fähigkeit der in einem Raum vorhandenen Oberflächen, Schall zu absorbieren (also zu schlucken) bzw. zu reflektieren = Absorptionskoeffizienten ( $\alpha$ )

Merke: Bremswirkung und Absorptionsgrad!

Der Absorptionsgrad ist sehr stark abhängig von der Beschaffenheit des Materials und von der Frequenz, die absorbiert wird. Grundsätzlich gilt: hohe Frequenzen lassen sich leichter absorbieren und weiches und poröses Material absorbiert besser als hartes und glattes.

## Ein Phon (Fon)

Das Phon (gem. neuer deutscher Rechtschreibung auch Fon) ist die Maßeinheit der psychoakustischen Größe Lautstärkepegel. Der Lautstärkepegel in Phon beschreibt – wie die Lautheit in Sone – die empfundene Lautstärke, mit der ein Mensch ein Schallereignis als Hörereignis wahrnimmt. Erstmals eingeführt wurde das Phon 1925 durch Heinrich Barkhausen. Das Phon ist keine SI-Einheit bzw. gesetzliche Einheit in der EU, wird aber durch die ISO 532 definiert und in der Rechtsprechung als Standard verwendet. Der Wert in Phon gibt an, welchen Schalldruckpegel (in dB) ein Sinuston mit einer Frequenz von 1000 Hz besitzt, der gleich laut empfunden wird wie das eigentliche Schallereignis, das eine andere Frequenz besitzt. Durch diesen Vergleich der empfundenen Lautstärke eines beliebigen Schallsignals mit der Lautstärke eines Referenzsignals (dem Sinuston bei 1000 Hz) ist es möglich, die Hörempfindung mit einem Pegelwert zu beschreiben, der unabhängig vom Spektrum des Signals ist. 130 Fon sind in etwa die Schmerzgrenze.

### **Lautheit Maßeinheit Sone, 1 Sone = Lautstärkepegel von 40 Phon:**

Lautheit ist eine psychoakustische Größe, die beschreibt, wie eine Anzahl von Testpersonen die empfundene Lautstärke von Schall überwiegend beurteilt. Sie dient zur proportionalen Abbildung des menschlichen Lautstärkeempfindens: Wenn der Schall als doppelt so laut empfunden wird, verdoppelt sich die Lautheit. Im Innenohr werden die Schallschwingungen in Nervenimpulse umgewandelt.

### **Schalldruckpegel SPL, Schallpegel = Maß für die Schalleistung-Schallerereignisstärke:**

Das menschliche Gehör ist ein Schalldruckempfänger. Bei jeder Ausbreitung von Schall in der Luft entstehen Druckschwankungen, die das Trommelfell im menschlichen Gehör in Bewegungen zur Hörempfindung umsetzt. Diese Druckschwankungen werden in der Akustik als Schalldruck bezeichnet. Der Schalldruckpegel (SPL) wiederum, ist eine vom Schalldruck abgeleitete logarithmische Größe zur Kennzeichnung der Schallerereignisstärke (Verhältnis zwischen Schalldruck und Schallquellenentfernung). Blätterrascheln: 10 dB(A) Atemgeräusch: 25 dB(A) Flüstern: 30 dB(A) Vogelgezwitscher: 50 dB(A) Radio/TV in Zimmerlautstärke: 55 dB(A) Sprechen (1 m Entfernung): 60 dB(A) Staubsauger (1 m Entfernung): 70 dB(A) Verkehrslärm (5 m Entfernung): 80 dB(A) Dieselmotor (10 m Entfernung): 90 dB(A) Musik über Kopfhörer: 95 dB(A) Diskothek (in Lautsprechernähe): 100 dB(A) lautes Konzert: 110 dB(A) Schmerzschwelle: 130 dB(A) Düsenflugzeug (30 m Entfernung): 140 dB(A)

### **Schalldruck = Wechseldruck in der Luft**

Als Schalldruck werden die Druckschwankungen eines kompressiblen Schallübertragungsmediums (üblicherweise Luft) bezeichnet, die bei der Ausbreitung von Schall auftreten. Diese Druckschwankungen werden vom Trommelfell als Sensor in Bewegungen zur Hörempfindung umgesetzt.

Schallquelle und Situation (Entfernung)	Schalldruck $\bar{p}$ (Effektivwert) (in Pascal)	Schalldruck- pegel $L_p$ dB re 20 $\mu$ Pa
M1 Garand-Gewehr (1 m)	5000	168
Strahlflugzeug (30 m)	600	150
Schmerzschwelle	100	134
Gehörschäden bei kurzfristiger Einwirkung	20	ab 120
Strahlflugzeug (100 m)	6 ... 200	110 ... 140
Presslufthammer (1 m); Diskothek	2	100
Gehörschäden bei langfristiger Einwirkung mehr als 8 Stunden täglich	0,6	ab 90
Hauptverkehrsstraße (10 m)	0,2 ... 0,6	80 ... 90
Pkw (10 m)	0,02 ... 0,2	60 ... 80
Fernseher in Zimmerlautstärke (1 m)	0,02	ca. 80
normale Unterhaltung (1 m)	$2 \dots 6 \cdot 10^{-3}$	40 ... 50
sehr ruhiges Zimmer	$2 \dots 6 \cdot 10^{-4}$	20 ... 30
Blatterrauschen, ruhiges Atmen	$6 \cdot 10^{-5}$	10
Hörschwelle bei 1 kHz	$2 \cdot 10^{-5}$	0

### **dB(A) = A02 Bewerteter Schalldruckpegel für das menschliche Hörempfinden**

**dB(A)** ist die Maßeinheit des Schalldruckpegels (ugs. Geräuschpegel) nach der international genormten Frequenzbewertungskurve A. Der gemessene Wert **ist** abhängig von der Entfernung zur Schallquelle. Eine Zunahme um 10 **dB(A)** entspricht in der subjektiven menschlichen Wahrnehmung einer Verdoppelung der Lautstärke. Das menschliche Ohr empfindet Töne gleichen Schalldrucks je nach Frequenz (Tonhöhe) unterschiedlich laut. So werden mittelhohe Töne vergleichsweise lauter empfunden als tiefe oder sehr hohe Töne

### **dB = Angabe des Schalldruckpegels als Logarithmus**

0 dB Hörschwelle 130 dB Schmerzgrenze, HiFi Hörraum 70 bis 90 dB. Nur eine Zunahme von 10 dB (ruhiges Atmen) ist eine Verdopplung der empfundenen Lautstärke.

### **Die Frequenzen im hörbaren Bereich liegen zwischen 20 Hz und 20 kHz (20.000 Hz)**

Einflüsse auf das subjektive Hörempfinden

Jeder Mensch empfindet Frequenzen unterschiedlich laut. Der Frequenzbereich zwischen 1 und 3 kHz ist der sensibelste Bereich. Der Bereich, in dem man unterschiedliche Frequenzen gleich laut wahrnimmt, wird Phon genannt. Generell nimmt man hohe und tiefe Töne leiser wahr als mittlere Töne. Auch die Lautstärke hat Einfluss auf die Hörkurve. Mit zunehmender Lautstärke des Signals gleicht sich die Hörkurve aus. Die Frequenzen im hörbaren Bereich liegen zwischen 20 Hz und 20 kHz (20.000 Hz). Dieses Hörspektrum wird durch Alter, Beruf und Geschlecht beeinflusst. Mit zunehmendem Alter verringert sich die Hörbarkeit der oberen Frequenzen auf etwa 12 kHz. Töne, die höher sind als der hörbare Frequenzbereich, nennt man Ultraschall, niedrigere Infraschall. Junge Menschen hören oft noch einige kHz im Ultraschallbereich.