

Neue Methoden zur Anpassung von Studiomonitoren an die Raumakustik mit Hilfe digitaler Filterkonzepte (Teil 2)

Anselm Goertz ; Audio & Acoustics Consulting Aachen
Markus Wolff ; Klein + Hummel GmbH Ostfildern

Bei allen Einsätzen von Lautsprechern stellt sich immer wieder die Frage, wie weit kann ein Lautsprecher auf sein Umfeld eingestellt bzw. eingemessen werden. Abhängig von der akustischen Beschaffenheit eines Raumes kann eine Lautsprecherwiedergabe unausgeglichen und von Resonanzen überlagert werden. Bekannte Methoden sind hier die Abstimmung mittels grafischem oder parametrischen EQs unter Mithilfe eines Analysers oder eines Messprogramms. Während in großen Räumen und Hallen primär die lange Nachhallzeit zu Problemen führen kann, sind es in kleinen und meist gut bedämpften Studios mehr die Raummoden oder Eigenfrequenzen und einzelne reflektierende Flächen, wie Trennscheiben oder Pultoberflächen.

Die dahinter stehenden Mechanismen der Schallausbreitung sind aber in allen Fällen identisch. Eine Quelle, hier der Lautsprecher, strahlt den Schall abhängig von der Frequenz mehr oder weniger gerichtet ab. Die erste beim Empfänger eintreffende Wellenfront kommt auf direktem und kürzestem Wege dort an und nennt sich daher auch Direktschall. Wäre man jetzt im Freifeld, also im Freien oder in einem reflexionsarmen Raum, so wären das die einzigen Schallwellen, die dort eintrüfen und man würde nur den vom Lautsprecher ohne Umwege abgestrahlten Schall hören oder messen. In einem Raum, wo Sender und Empfänger von vielen akustisch reflektierenden Flächen umgeben sind, folgen dem Direktschall eine Reihe von verzögerten Anteilen, die abhängig von der Beschaffenheit des reflektierenden Materials verändert sind. Trifft z.B. eine Schallwelle auf eine mit Vorhangstoff in Wellen belegte Wand auf, so werden die mittleren und hohen Frequenzen weitgehend absorbiert und verschwinden damit. Nur die nicht absorbierten Anteile werden in den Raum zurück reflektiert und gestreut. Eine glatte Oberfläche, wie eine Pultoberfläche, führt zu großteils harten geometrischen Reflexionen. Erst wenn die Struktur einer Oberfläche in die Größenordnung der Wellenlänge des Schalls kommt, entsteht auch eine diffuse Streuung. An der Empfängerposition kommen so eine Vielzahl reflektierter Anteile an, die zur Entstehung der Raumimpulsantwort führen, aus der sich dann auch die raumakustischen Größen, wie die Nachhallzeit errechnen. Im Frequenzbereich dargestellt, führen diese vielen Schallanteile mit unterschiedlichen Laufzeiten zusammen mit dem Direktschall zu einem stark ausgeprägten Interferenzmuster. Der eigentliche Lautsprecherfrequenzgang ist dabei kaum noch zu erkennen und wird von der absolut dominanten Raumübertragungsfunktion überlagert. Genau aus diesem Grund bedarf es auch eines reflexionsarmen Raumes, um den Lautsprecher selber zu messen. Hier gibt es keine Reflexionen von den Wänden und der am Messmikrophon eintreffende Schall ist ausschließlich Direktschall vom Lautsprecher.

Mit diesen hier vereinfacht dargestellten Regeln der geometrischen Akustik lassen sich bereits viele Effekte in der Raumakustik gut beschreiben. Erst bei sehr tiefen Frequenzen, wo die Wellenlängen die Größenordnung der Raumabmessungen erreichen, haben diese Vorstellungen keine Gültigkeit mehr. Hier hilft der Ansatz zur Wellenausbreitung in Räumen weiter, der besagt, dass auf allen Grenzflächen (Wände, Boden, Decke etc.) die physikalischen Randbedingungen erfüllt sein müssen. Bei schallharten Grenzflächen bedeutet das, dass sich nur die Schallwellen ausbreiten können, die ein Druckmaximum bzw. eine Schnelleminimum auf der Grenzfläche haben, die sogenannten stehenden Wellen, auch Raummoden oder Eigenfrequenzen genannt. D.h. zwischen zwei Wänden im Abstand von 3,4m bildet sich bei genau 50 Hz eine stehende Welle aus. Zwei Druckmaxima bei 50 Hz liegen genau eine halbe

Wellenlänge entsprechend 3,4m auseinander. In der Mitte befindet sich entsprechend ein Minimum. Dieser Effekt lässt sich leicht in jedem Raum nachvollziehen, wo tiefe Töne in der Nähe der Wände immer besonders laut sind, da hier alle Eigenfrequenzen ihr Maximum haben, und in die Mitte des Raumes die Basswiedergabe meist sehr schwach ausfällt, da hier die Druckminima liegen. Nun sind viele Wände bei tiefen Frequenzen nicht ideal schallhart und in den Räumen befinden sich sehr viel mehr Grenzflächen als nur die eigentlichen Raumbegrenzungen, so dass diese Bedingungen ein wenig aufweichen. Was bleibt, sind die in jedem Raum bei tiefen Frequenzen leicht zu hörenden und auch nachzumessenden Überhöhungen und Einbrüche durch Eigenfrequenzen, die zu einem mehr oder weniger unruhigen Verlauf in diesem Frequenzbereich führen. Je kleiner der Raum ist, desto weiter ist dieser Frequenzbereich ausgedehnt.

Als Beispiel soll zunächst eine Einzelmessung eines K+H O500C in einem mittelgroßen Tonstudio betrachtet werden. Der Frequenzgang wird durch den Einfluss des Raumes wild strukturiert und von Interferenzmustern gezeichnet. Unterhalb von 100 Hz erkennt man zusätzlich die Eigenfrequenzen des Raumes, die hier zu recht scharfen Maxima und Minima führen. Die folgenden Abbildungen 1 und 2 zeigen drei Messungen mit der gleichen Konstellation an drei unterschiedlichen Punkten im Haupt Abhörbereich dieses Studios.

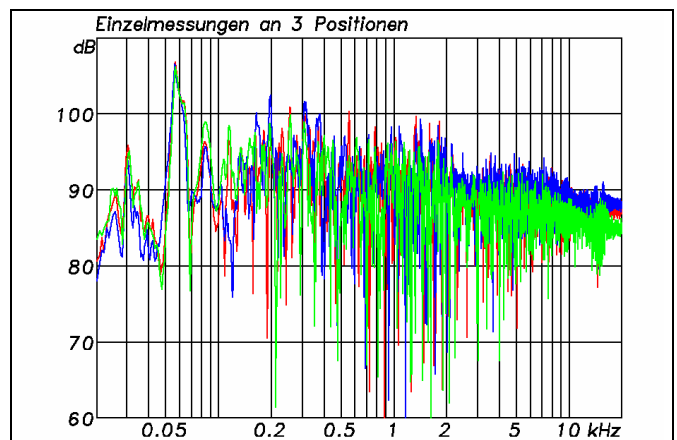


Abb. 1 Frequenzgangmessung an 3 verschiedenen Positionen im Raum

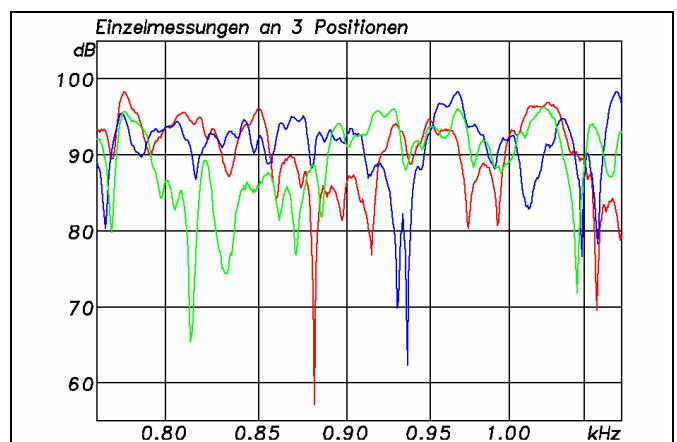


Abb. 2 Frequenzgangmessung an 3 verschiedenen Positionen im Raum in gezoomter Darstellung

Die Messpunkte lagen hier jeweils ca. 1m auseinander. Sehr schön ist zu erkennen, wie sich die Feinstruktur der Interferenzen von Punkt zu Punkt ändert. Noch deutlicher wird dieser Effekt in der Ausschnittvergrößerung für einen schmalen Frequenzbereich um 900 Hz. Durch die unterschiedlichen Laufzeiten an den verschiedenen Messpositionen verschieben sich die scharfen Minima und Maxima für jeden Messpunkt. Eine Entzerrung auf eine so fein und heftig strukturierte Kurve einzustellen, selbst wenn dieses technisch möglich ist, macht offensichtlich keinen Sinn. Die Vorgehensweise ist daher folgende: Im bevorzugten Hörbereich, d.h. im Studio um den Arbeitsplatz am Mischpult, wird eine Vielzahl von Messungen der Übertragungsfunktion im Frequenzbereich gemacht. Wichtig ist dabei eine hinreichende Auflösung der Messung, um auch feine Strukturen erfassen zu können. Ein FFT basiertes Verfahren sollte hier mindestens mit einer Auflösung von 1 Hz und mehr arbeiten. Für diesen Beispielfall wurden die Kurven an 20 Messpunkten im betreffenden Studio aufgenommen. Bei der Messung empfiehlt es sich, alle Punkte getrennt für den linken und rechten Lautsprecher bzw. für alle 5 Kanäle eines Surround-Systems aufzunehmen. Mit modernen PC gestützten Messsystem sind selbst 100 Messpunkte binnen einer Stunde abzuarbeiten, so dass sich dieser Aufwand auf jeden Fall lohnt. Bei sehr vielen Messpunkten können je nach Anwendung auch die Außenbereiche mit einbezogen werden, wobei allerdings die Dichte der Messpunkte im Haupt-Hörbereich größer sein sollte.

Anschließend werden alle Messpunkte für einen Lautsprecher energetisch aufaddiert. Das entspricht einem Mitteln der Beträge über alle Messungen, ohne dass dabei die Phasenlage berücksichtigt wird. Mit Phaseninformationen würden durch die Additionen die feinen Interferenzen immer ausgeprägter, wogegen sie sich durch eine rein betragsmäßig Addition mit einer zunehmenden Anzahl von Messpunkten wegmitteln. Einleuchtend wird dieser Effekt, wenn man sich noch einmal die gezoomte Darstellung der drei Messkurven ansieht, wo niemals bei einer bestimmten Frequenz gleichzeitig in allen Kurven ein Minimum oder ein Maximum auftritt. Erst bei tieferen Frequenzen, wo dann die Raummodes ins Spiel kommen und die Wellenlängen sehr groß werden, decken sich die Strukturen der Messpunkte, die für diesen Frequenzbereich in Relation zur Wellenlänge nicht mehr weit auseinander liegen. Das Gesamtergebnis einer solchen Mittelung von 20 Messpunkten zeigt die rote Kurve in Abbildung 3.

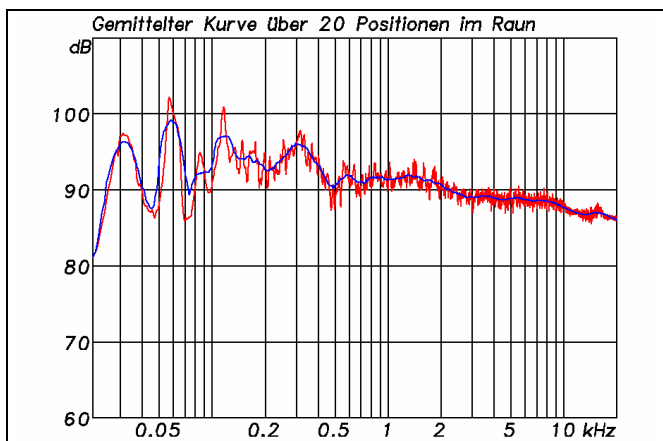


Abb. 3 rot: Mittelung über 20 Positionen im Raum
blau: 1/6 Oct. geglätteter Verlauf

Das Interferenzmuster ist zwar noch zu erkennen, aber weit weniger ausgeprägt als in den Einzelmessungen. Inhalt dieser Kurve ist jetzt die Übertragungsfunktion des Lautsprechers und die gemittelte Raumübertragungsfunktion für den Bereich der Messpunkte. Die zusätzlich eingezeichnete blaue Kurve wurde weitergehend noch mit einer Glättung von 1/6 Oktave bearbeitet und stellt nun die Basis für eine Einstellung des Raum EQs dar. Eine Entzerrung auf einen völlig geraden Verlauf würde allerdings auch hier weniger sinnvoll erscheinen, da im Kurvenverlauf die Diffusfeldenergie des Raumes eingeht, die abhängig von der

Nachhallzeit ist. Naturgemäß nimmt beides mit zunehmenden Frequenzen ab, so dass die Kurve eine insgesamt fallende Tendenz bekommt. Ziel einer Entzerrung sollte es daher sein, diesen Verlauf auf eine passend angenäherte fallende Gerade hin zu entzerren. Für die Beispielmessung ist dieser Vorgang in Abbildung 4 mit drei Kurven gezeigt.

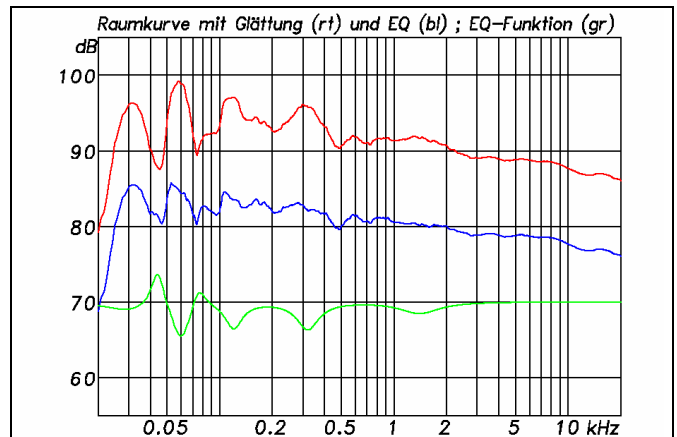


Abb. 4 rot: Raumkurve aus Mittelung und Glättung
blau: Raumkurve mit EQ
grün: Filterfunktion des Raum EQs

Die rote Kurve ist das Ergebnis aus Mittelung und Glättung der 20 Messpunkte, die grüne Kurve der dazu eingestellte Raum-EQ und die blaue Kurve das Resultat mit Raum-EQ. Bewährt hat sich hier ein gemäßigtes Vorgehen bei der Entzerrung, wobei die kräftigsten Welligkeiten unterhalb von 100 Hz nicht unbedingt vollständig kompensiert werden.

Typischer Weise würde man eine solche Entzerrung mit einem parametrischen EQ vornehmen, da ein herkömmlicher grafischer Terz-EQ hier nicht genau genug anzupassen ist. Im Falle des O500C kann die Entzerrung über die 10 frei konfigurierbaren voll parametrischen IIR-Filter erfolgen. Unweigerlich erzeugen diese Filter natürlich auch eine Reihe von Phasenverschiebungen, die insbesondere bei großen Güten im Bassbereich schon zu kritischen Laufzeiten führen können. Der Phasengang des Filters trägt auch nicht zur Kompensation der Raumübertragungsfunktion bei, da der Raum kein minimalphasiges System ist. Eine elegantere Lösung wäre daher ein Filter, das nur den gewünschten Amplitudenverlauf einstellt, ohne dabei eine Phasenverschiebung zu verursachen. Die ohnehin schon im O500C vorhandenen FIR-Filter bieten sich da natürlich an. Es ist sogar nicht einmal notwendig, ein zusätzliches FIR-Filter für den Raum-EQ einzurichten, da diese Funktion mit von den 3 FIR-Filtern in den 3 Wegen der Box übernommen werden kann. Schon bei der Filterberechnung wird dann als Zielfunktion der gesamten Box nicht mehr ein völlig gerader Verlauf, lediglich durch einen Hoch- und Tiefpass begrenzt, eingegeben, sondern eine Funktion in welche der gewünschte Raum-EQ bereits eingerechnet ist.

Literatur

- [1] Optimierung der Entzerrerübertragungsfunktion für Lautsprechersysteme durch Berücksichtigung psychoakustischer Effekte
A. Goertz ; K.H. Pflaum
Tagungsband DAGA 96
- [2] Digitale Signalverarbeitung für Lautsprecher
S.Müller
Dissertation an der RWTH Aachen 1999
- [3] Tact RCS Systems 2.2
A.Goertz
Production Partner Ausgabe 11/1999

Weitere Informationen sowie ein Download dieses Textes und des zugehörigen Vortrages als PDF-Files finden sich auf der Homepage unter:
www.anselngoertz.de und www.klein-hummel.de