



Möglichkeiten und Grenzen der „elektronischen Raumkorrektur“ bei Lautsprecherwiedergabe

Sebastian Goossens (IRT), Christian Gutmann (Hochschule Deggendorf)

Sachgebiet: Produktionssysteme Audio

Einleitung

- Fortschritt der digitalen Signalbearbeitung ermöglicht die Entwicklung sehr komplexer Entzerrungsfilter (z.B. Trinnov Optimizer)
- Verkaufsprospekt verspricht:
 - „Hören Sie, wie der Raum schweigt“
 - „Kontrolle bei schwierigsten akustischen Bedingungen“
 - „Technologie zur Optimierung der Raumakustik“
- Was kann man davon erwarten?
Ist eine elektronische Raumkorrektur überhaupt möglich?

Die „elektronische Raumkorrektur“ bei Lautsprecherwiedergabe

Möglichkeiten

- Klangliche Angleichung unterschiedlicher Produktionsräume
- Optimierung bei unsymmetrischer LS-Aufstellung oder Raumgestaltung
- Verbesserung bei einzelnen Raumresonanzen am Einmessort
- Kontrolle der Mischung mit verschiedenen „presets“

Grenzen

- Kein Ersatz für Raumakustik
- Nur einzelne Auswirkungen des Raumes auf das Lautsprechersignal am Messort werden bearbeitet
- Die nichtlinearen Verzerrungen mittlerer Lautsprecher können ansteigen
- Für die erfolgreiche Anwendung braucht man Fachwissen

Gliederung

- Vorstellung Trinnov Optimizer
- Untersuchungsergebnisse:
 - Ortsabhängigkeit der Korrektur abhängig von Raumakustik
 - Raummoden
 - Lokalisationsschärfe (objektiv und subjektiv)
 - Nichtlineare Verzerrungen
 - Lautsprecherposition (Remapping)
- Praktische Erfahrungen
- Studiointegration
- Zusammenfassung

Trinnov Optimizer

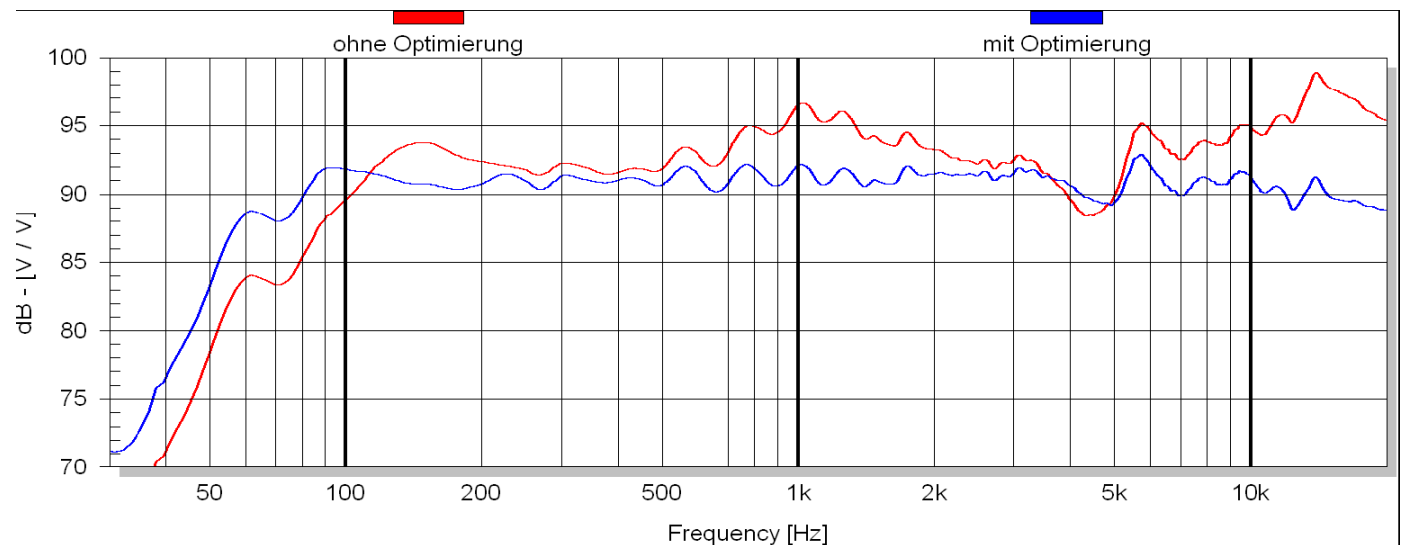


- Equalizer korrigiert Frequenz- und Phasengang jedes Lautsprechers (FIR-Filter; unter 300 Hz IIR-Filter)
- Lineare Phase (ca. 26 ms); Minimale Phase (ca. 15 ms)
- Messmikrofon (vier Kapseln) ermittelt räumliche Position, Übertragungsmaß und Phasengang für jeden Lautsprecher an nur einem Messpunkt
- Die “erste Wellenfront” (Direktschall mit ersten Reflexionen) wird stärker optimiert als die Wirkung später Reflexionen
- Überhöhungen durch Raummoden unter 300 Hz werden durch spezielle parametrische IIR-Filter bearbeitet.

Übertragungsmass und Impulsantwort

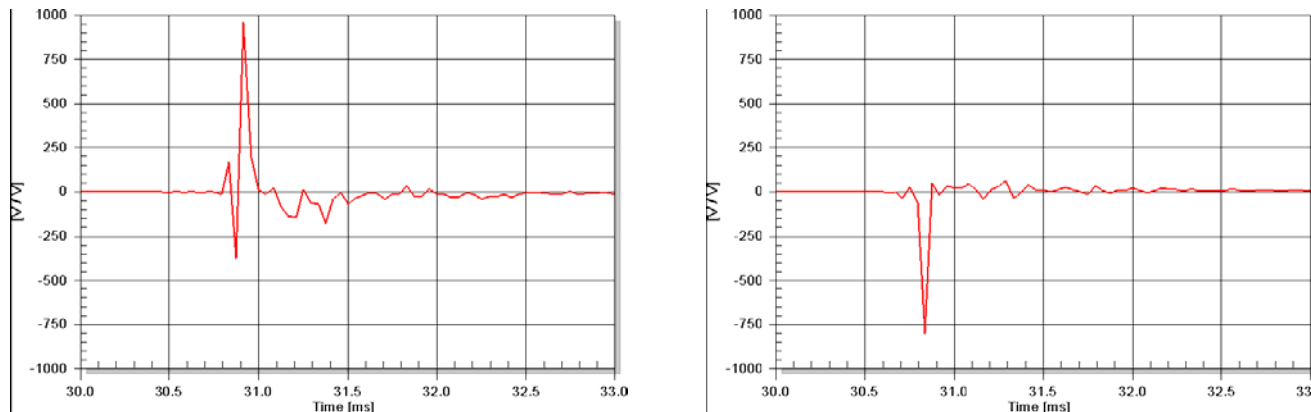


JBL Control1 im
reflexionsarmen Raum

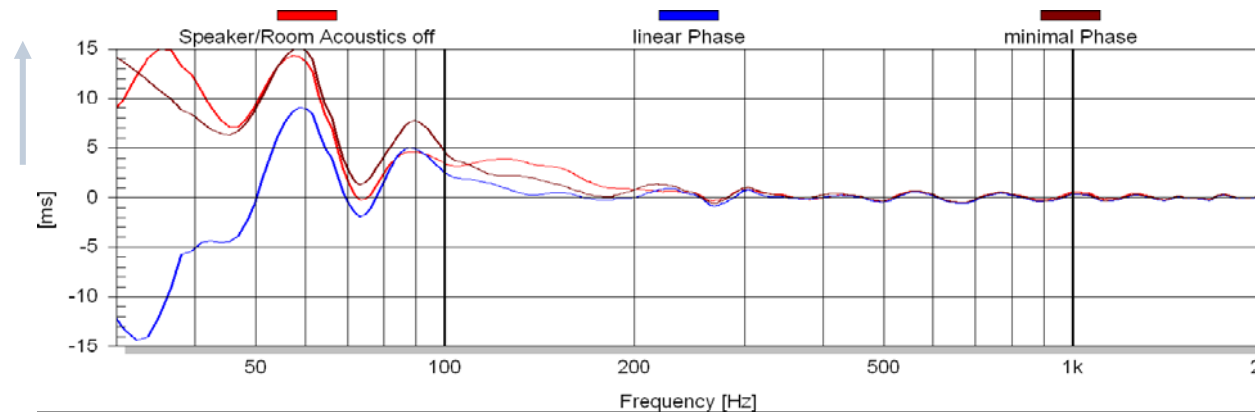


Übertragungsfunktion mit und ohne Optimierung

Impulsantwort und Gruppenlaufzeit



Impulsantwort ohne und mit Optimierung (lineare Phase)

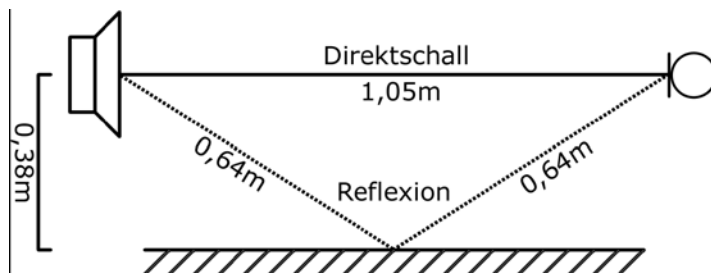


Gruppenlaufzeit ohne und mit Optimierung

Ortsabhängigkeit der Korrektur bei verschiedener Raumakustik

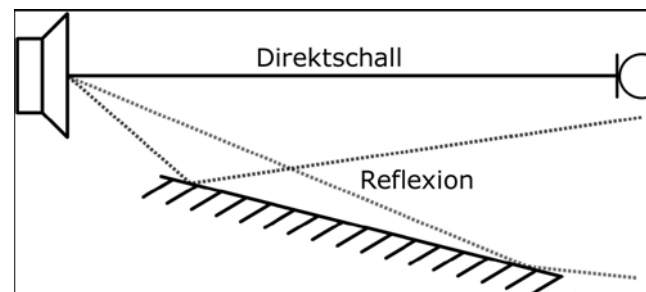
Optimierung bei starkem Raumeinfluss

ohne Wandabsorber;
Nachhallzeit: 0,7 s
Tisch eben

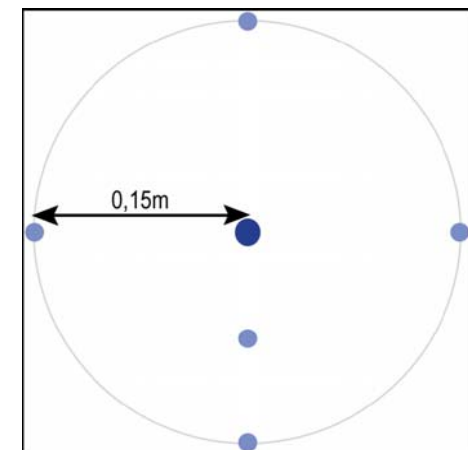


Optimierung bei geringem Raumeinfluss

mit Wandabsorber;
Nachhallzeit: 0,25 s
Tisch geneigt



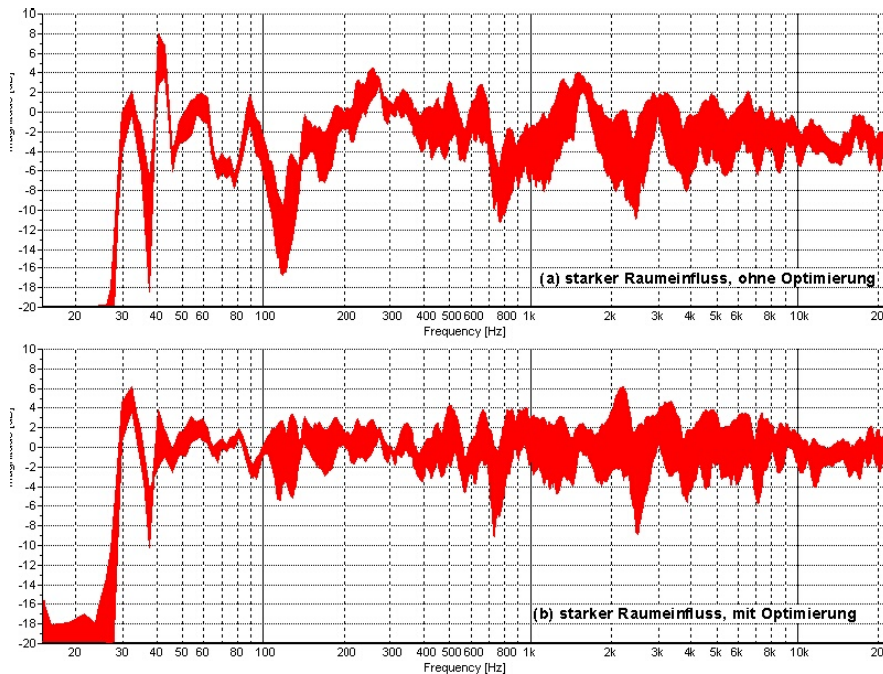
Messpunkte
Sicht von oben;



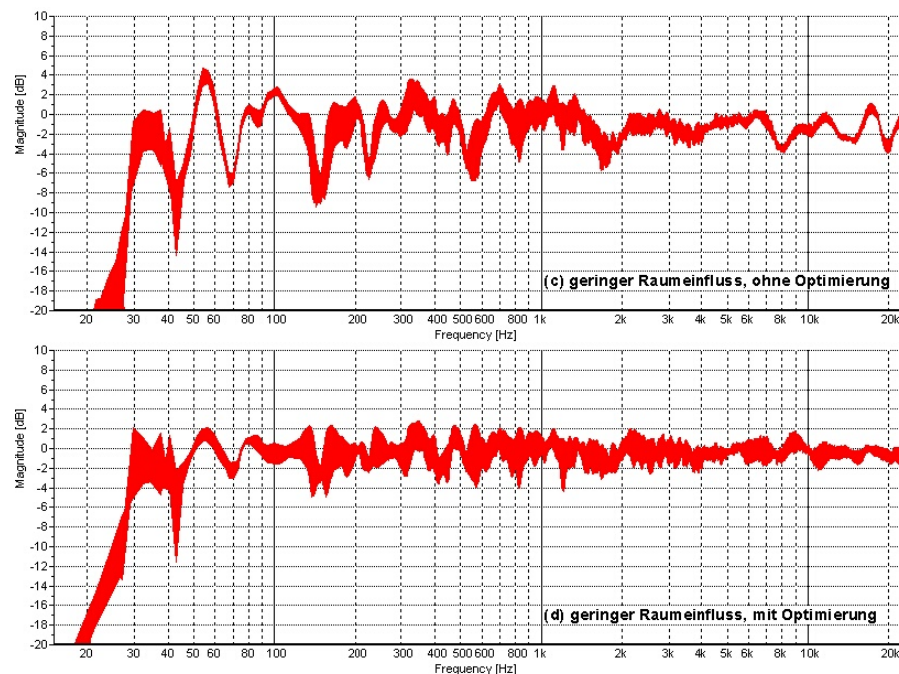
Einmesspunkt
(dunkelblau)
Messpunkte
(hellblau).

Ortsabhängigkeit der Korrektur

Schlechte Raumakustik



Gute Raumakustik



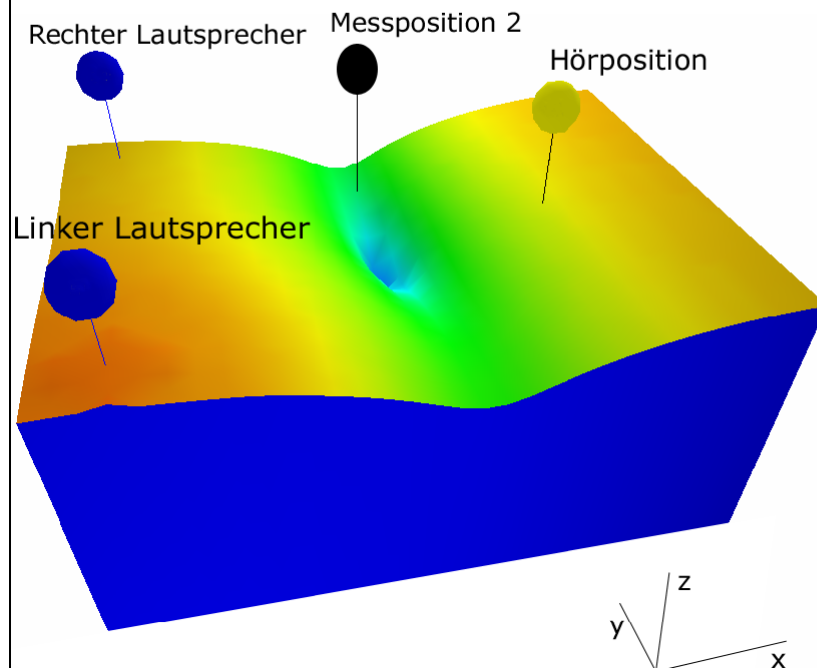
Streuung der Übertragungsmaße im Hörbereich

Die rote Fläche entsteht durch das Füllen der Räume zwischen den Kurven der Einzelmessungen

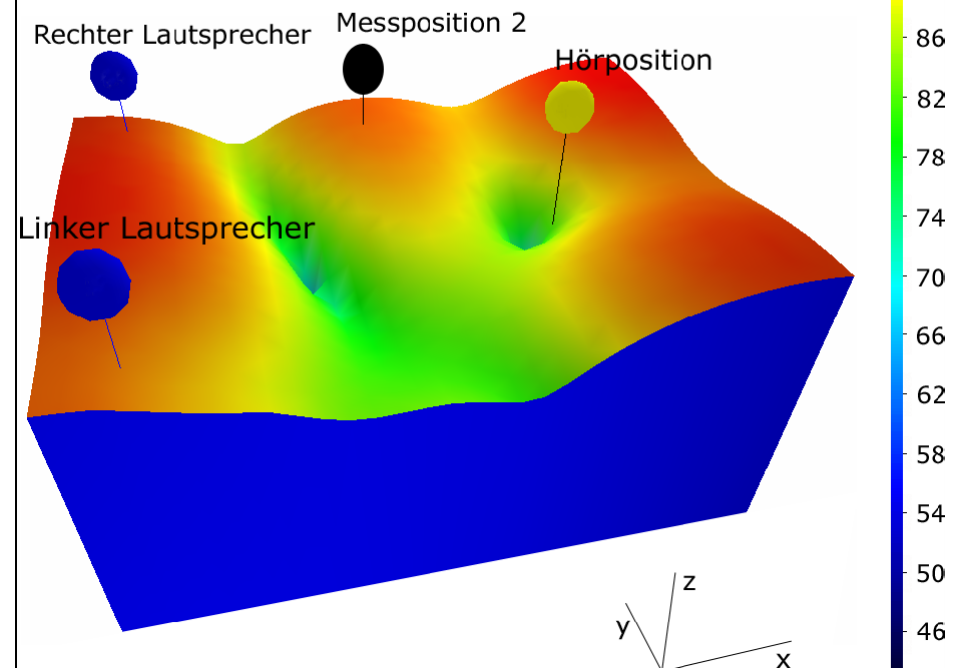
Die elektronische Raumkorrektur ist kein Ersatz für Raumakustik !

Raummoden

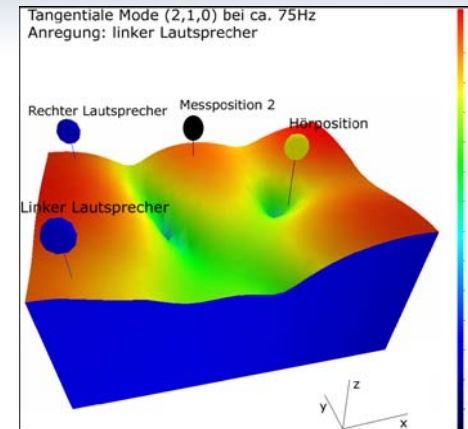
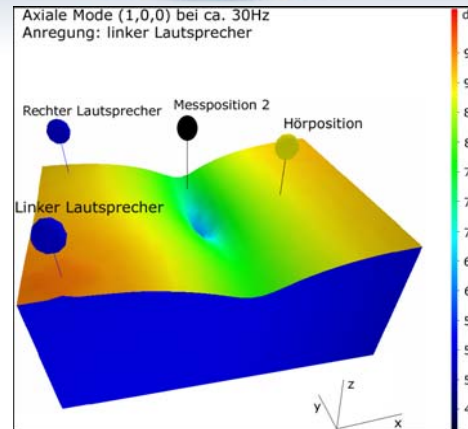
Axiale Mode (1,0,0) bei ca. 30Hz
Anregung: linker Lautsprecher



Tangentiale Mode (2,1,0) bei ca. 75Hz
Anregung: linker Lautsprecher

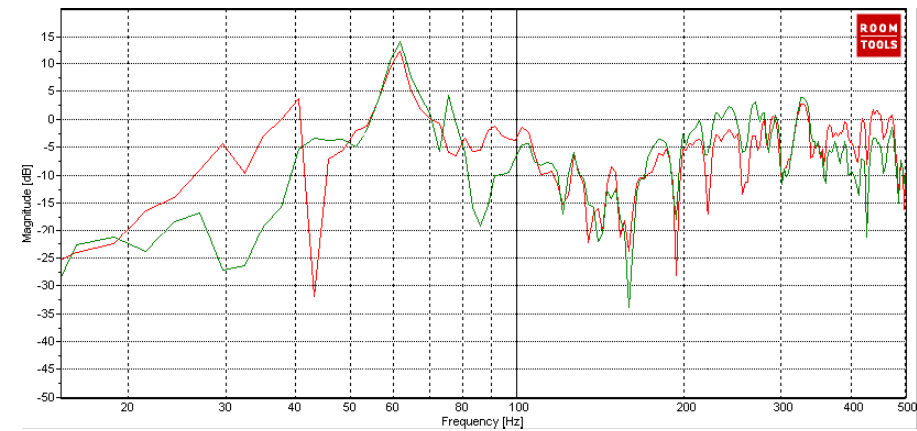
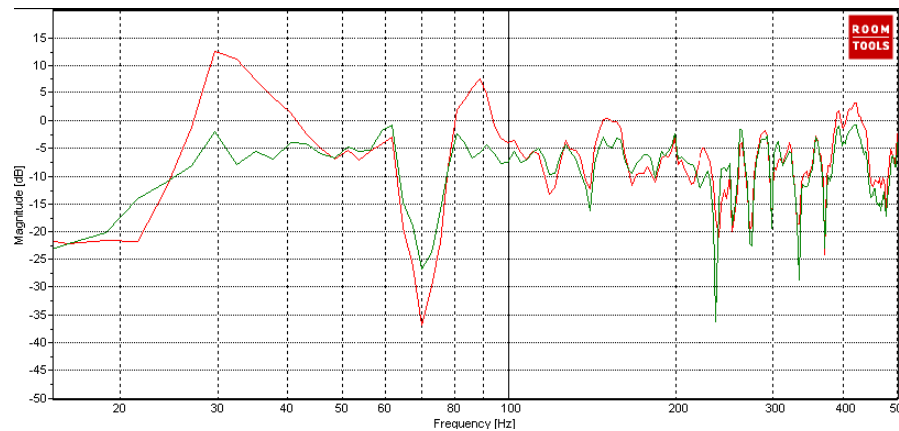


Raummoden



Hörposition

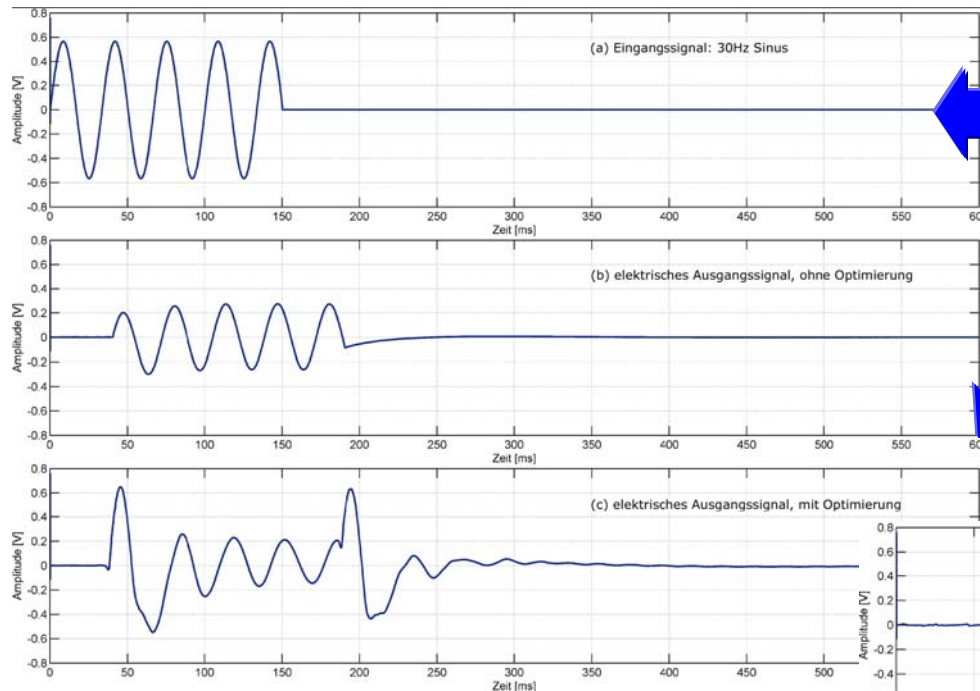
Messposition 2



Grün: mit Optimierung, Rot: ohne Optimierung

Die Kompensation von einzelnen Raummoden ist also ortsabhängig !

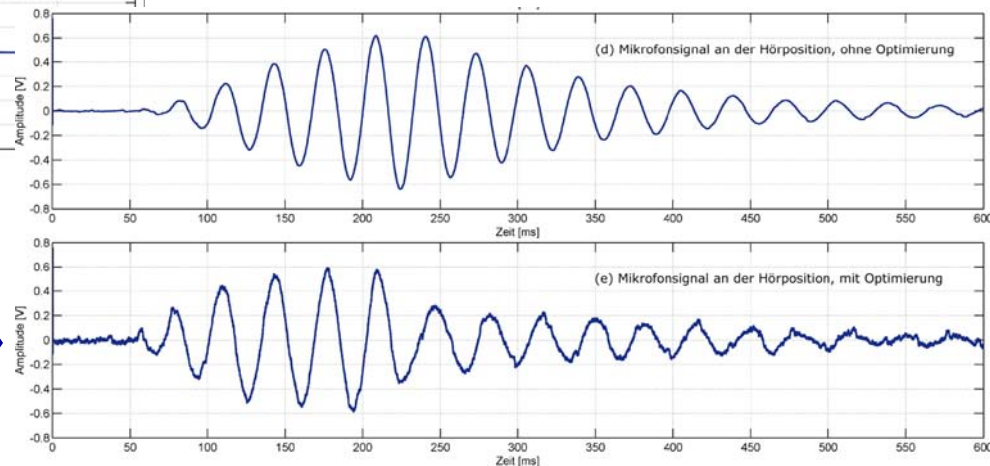
Signalbearbeitung Raummodes



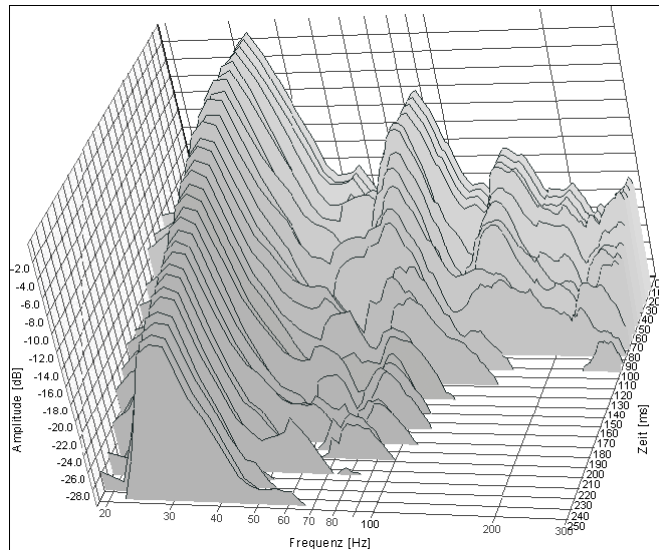
Ein- und Ausschwingverhalten bei 30 Hz. (Sinuston über 4,5 Perioden)

Die elektrischen Ausgangssignale ohne und mit Optimierung

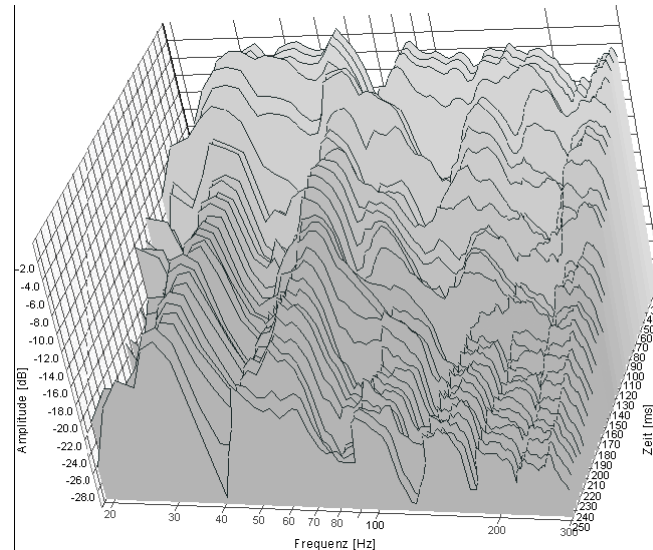
Das an der Hörposition gemessene Mikrofonsignal zeigt ein verbessertes Ein- und Ausschwingverhalten mit Optimierung



Kompensation am Bezugspunkt

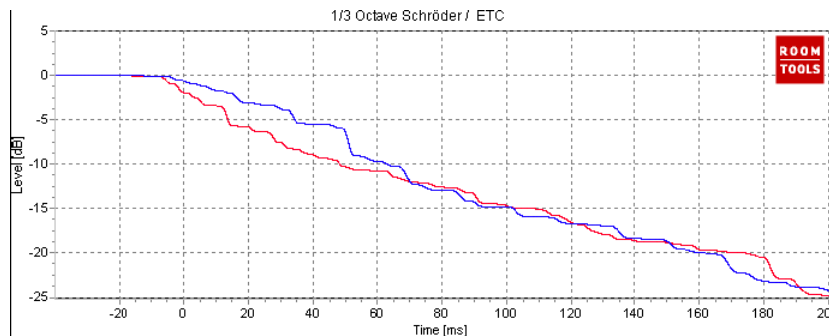


Ohne Optimierung



Mit Optimierung

Wasserfalldiagramm
von 20 Hz bis 300 Hz
(Amplituden:
-30 dB - 0 dB,
Zeit: 0 ms - 240 ms)

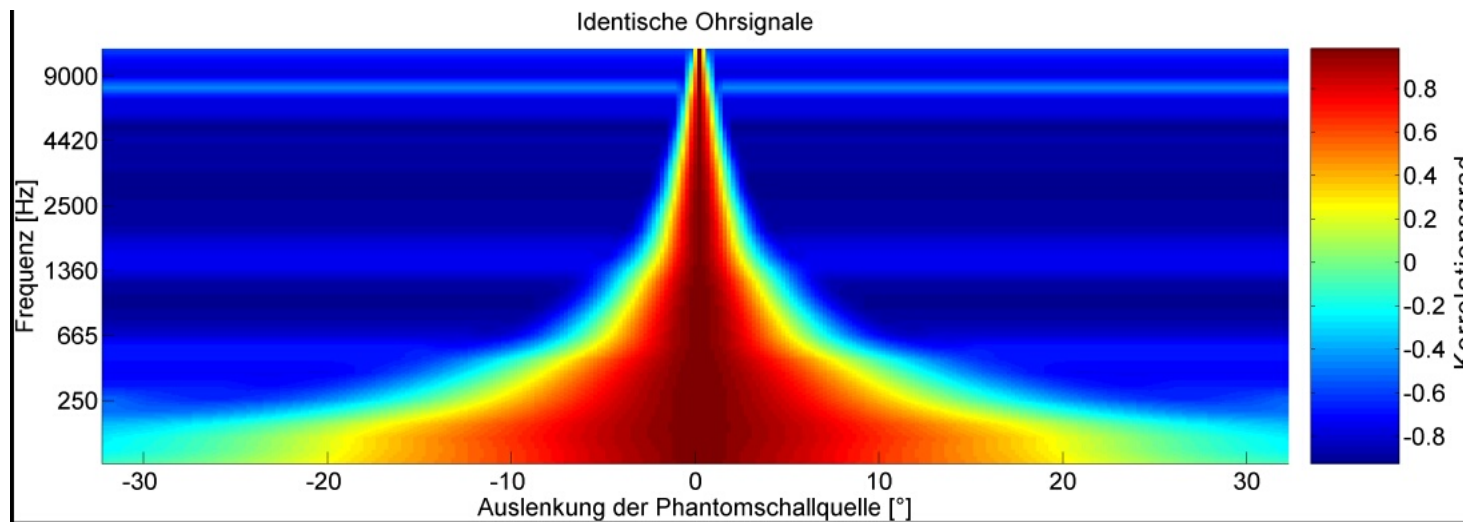


Schröder-Plot der Energiekurven
zwischen 40 Hz und 200 Hz mit
Optimierung (rot) und ohne
Optimierung (blau).

Lokalisationsschärfe - Objektive Analysemethode

Die Lokalisationsschärfe einer Phantomschallquelle ist umso besser, je ähnlicher die Übertragungsfunktionen der beiden Lautsprecher (Amplitude und Phase) am Abhörort sind. Korrelation !

Objektive Analysemethode für die Phantomschallquellenabbildung
(Tiefe Frequenzen: Laufzeiten; hohe Frequenzen: Pegel)



Ideale Lokalisationsschärfe [nach C. Gutmann 2008]

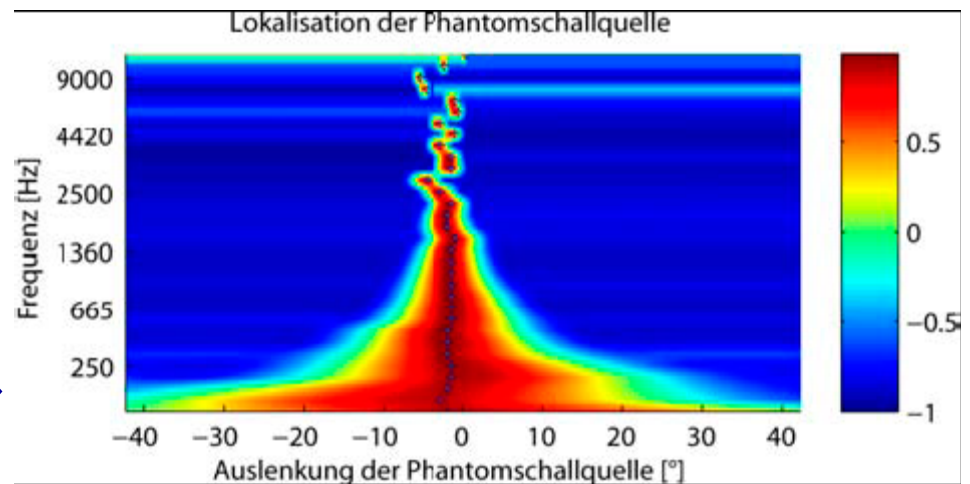
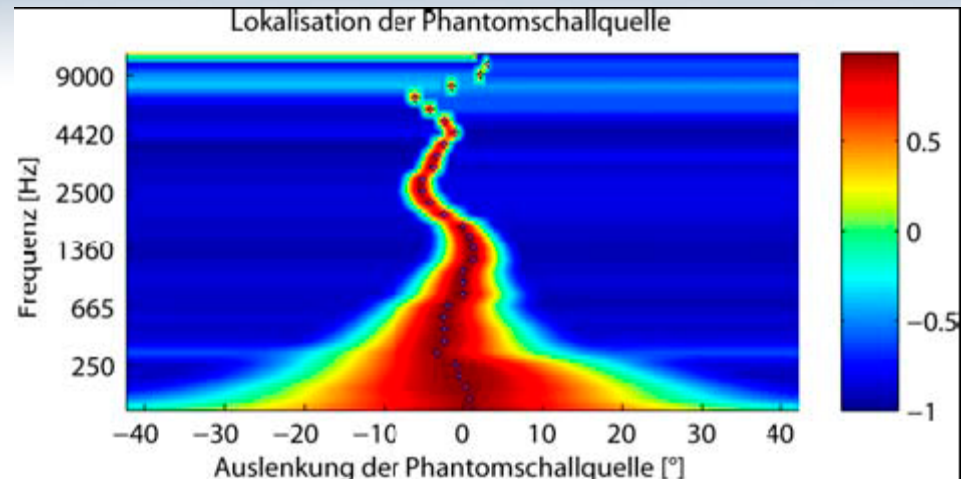
Verbesserung der Lokalisationsschärfe

Ohne Optimierung →



Korrelation der
beiden
Ohrsignale des
KU100

Mit Optimierung →

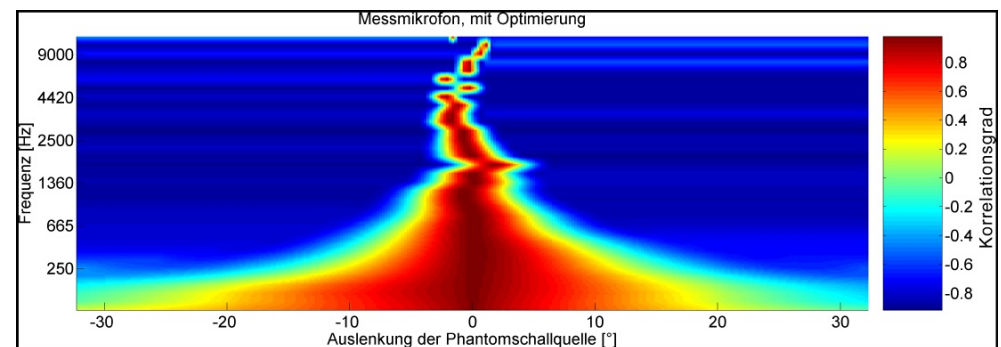
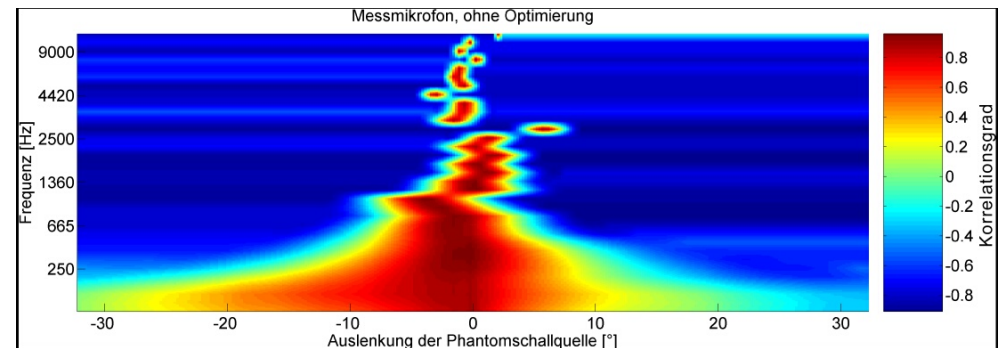


Objektives Lokalisationsmodell
(Fäth / Goossens 2009)

Lokalisationsschärfe

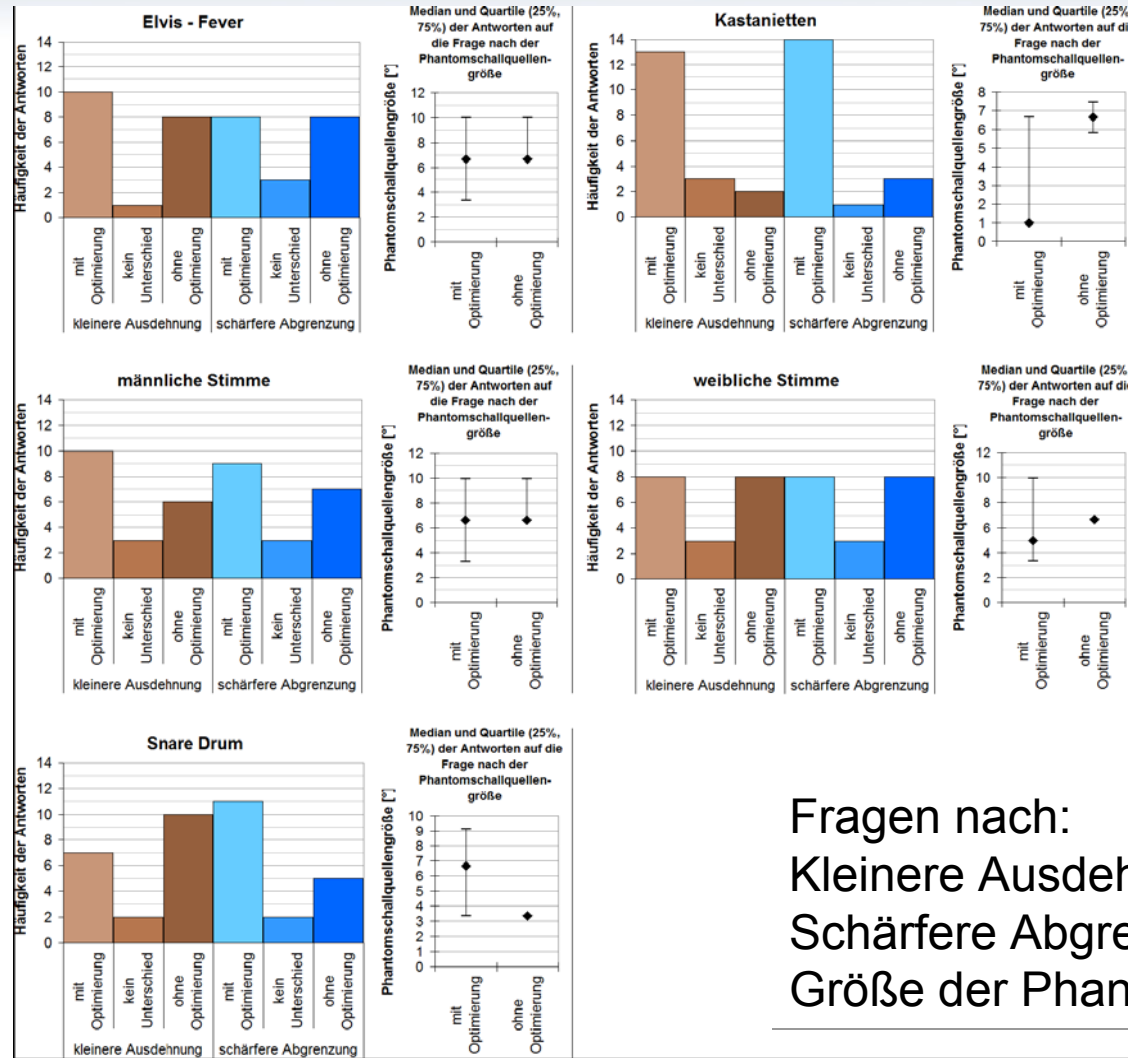


Lautsprecheranordnung für
objektive und subjektive Tests



Objektives Lokalisationsmodell
(Gutmann 2008)

Hörversuch Lokalisationsschärfe

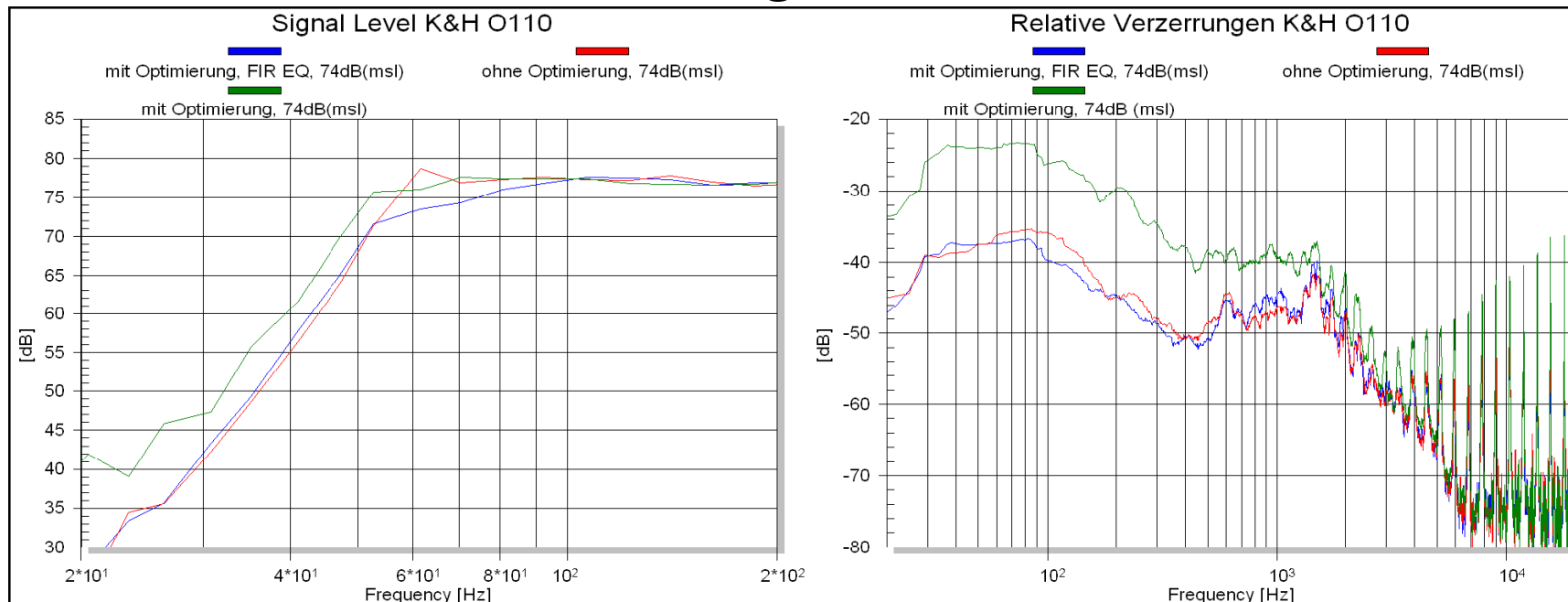


19 VP
im Alter zwischen
24 und 61 Jahren

Ergebnis stark vom Signal
abhängig
Einfluss der
Klangfarbenänderung ?

Fragen nach:
Kleinere Ausdehnung der Phantomquelle
Schärfere Abgrenzung der Phantomquelle
Größe der Phantomquelle (Farbskala)

Nichtlineare Verzerrungen



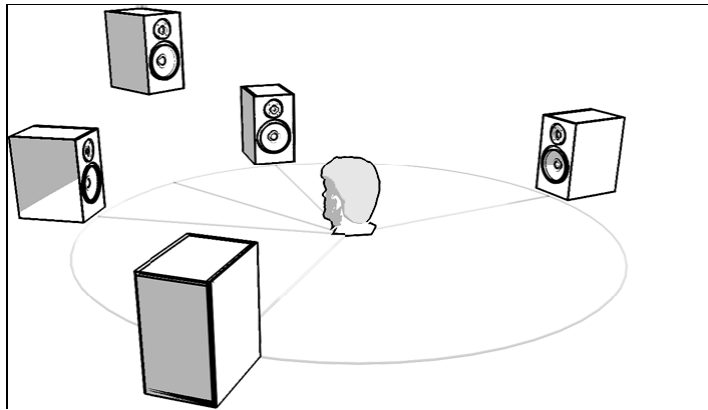
Standardmäßig wird auch die untere Flanke um +6 dB angehoben.

→ Der Membranhub bei der Wiedergabe tiefer Töne steigt.

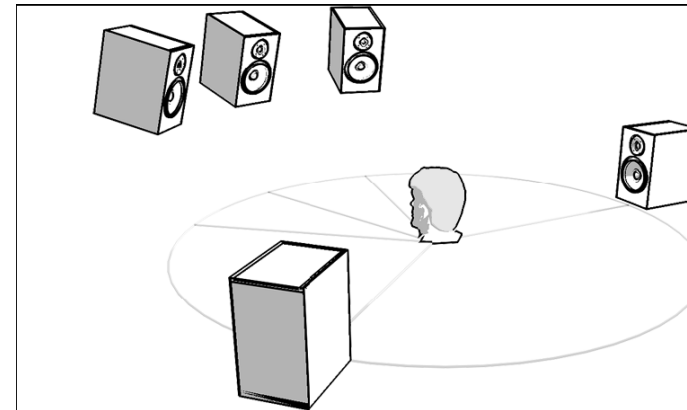
→ Die nichtlinearen Verzerrungen steigen durch die Optimierung z.B. von 2% auf 6% an (bei 74 dB mean signal level)

Lösung für den Fachmann: Mit „FIR EQ“ Option des Optimizers auf Anhebung der unteren Flanke verzichten oder Betrieb mit Subwoofer.

Korrektur der Lautsprecherposition „3D-Remapping“

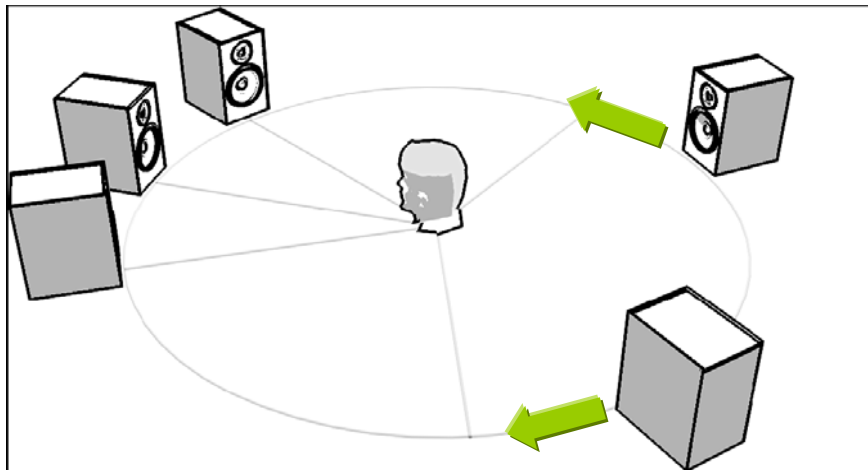


Der Ausgleich eines erhobenen Center-Lautsprechers ist möglich, da ersatzweise eine Phantomschallquelle zwischen linkem und rechtem Lautsprecher gebildet werden kann.

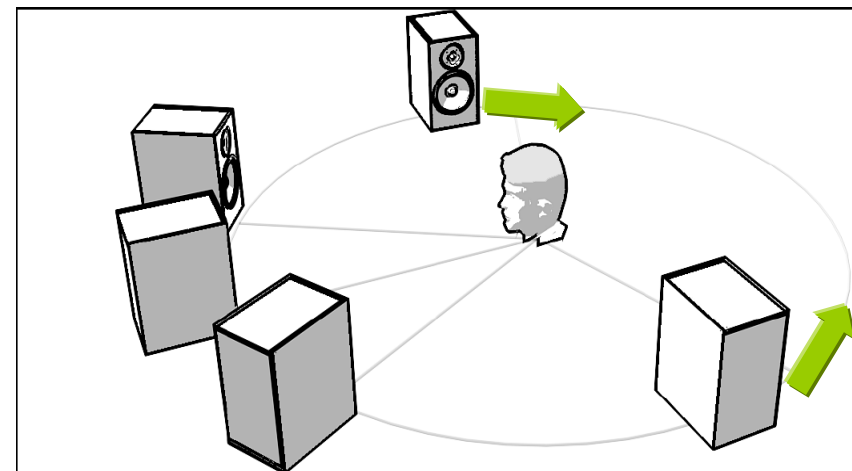


Eine akustische Absenkung aller erhobenen Front-Lautsprecher ist nicht möglich.
(Trinnov nutzt keine HRTF)

Korrektur der Lautsprecherposition „2D-Remapping“

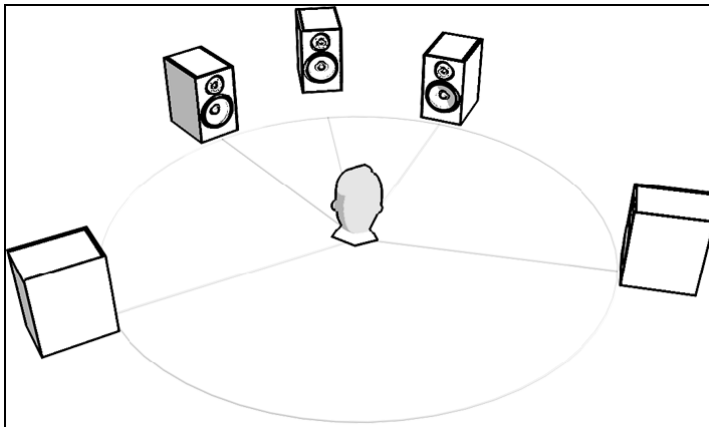


Der Ausgleich weiter hinten positionierter Surround-Lautsprecher funktioniert sehr schlecht, da eine Phantomschallquelle seitlich des Hörers gebildet werden muss.

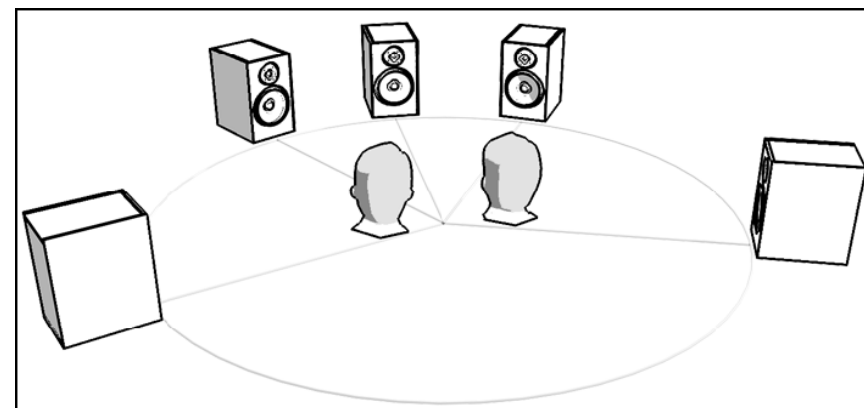


Sind die Surround-Lautsprecher zu weit vorne aufgestellt, kann diese Fehlplatzierung gut korrigiert werden. (Phantomschallquellen zwischen Surround-LS)

Distanzausgleich und seitliche Verschiebung



Ein Distanzausgleich mit weiter entferntem Center führt zu einem akzeptablen Ergebnis.
(Amplitudenanpassung und Verzögerung aller anderen Lautsprecher)



Eine seitliche Verschiebung funktioniert umso besser, je weiter sich der Hörplatz in der Mitte des Lautsprecherkreises befindet.

Der „Remapping“ Algorithmus basiert auf der Bildung von Phantomschallquellen zwischen Lautsprechern. Diese können nur auf der Linie zwischen zwei Lautsprechern oder im Raum zwischen mehreren Lautsprechern gebildet werden.

Praktische Erfahrungen in der Tonproduktion

- Einsatz bei Mehrkanalproduktion (BR) im Ü-Wagen
- Ausgangssituation: Frequenzgang der Lautsprecher waren bereits eingemessen
- Basisbreite zu groß, aber „Remapping“ wurde abgeschaltet
- Verbesserung der Klangfarbe, der Lokalisationsschärfe und der räumlichen Tiefe
- In der Nachbearbeitung (großer Regieraum) mussten weniger Korrekturen in der Mischung vorgenommen werden als sonst.

Studiointegration

- Automatische Einmessprozedur für alle Kanäle nacheinander (sehr praktisch)
- Analoge Ein- und Ausgänge: Betrieb über interne Wandler (RME Soundkarte)
- Digital: ADAT-Schnittstelle
- Mehrkanal über AES/EBU mit Zusatzkarte
- System vor dem Ausschalten herunterfahren
- Bei analogem Betrieb: Ein- und Ausschaltknack extern unterdrücken
- Bedienoberfläche bietet ein Surround- und Stereo-Sichtgerät

Zusammenfassung

- Kein Ersatz für Raumakustik - Die Nachhallzeit wird nicht verändert
- Die Kombination aus akustischen Maßnahmen und elektronischer Korrektur führt zu den besten Ergebnissen
- Verbessertes Ein- und Ausschwingverhalten einzelner Raummoden (Nur am Bezugspunkt)
- Lokalisationsschärfe nimmt objektiv zu; subjektiv im Hörversuch stark vom Testsignal und von der Person abhängig
- „Remapping“ Algorithmus basiert auf der Bildung von Phantomschallquellen; wurde bei der praktischen Mischung lieber abgeschaltet
- Nichtlineare Verzerrungen können durch die Optimierung mit Standardparametern stark ansteigen
- Klangliche Angleichung unterschiedlicher Produktionsräume möglich (Ü-Wagen); weniger Korrekturen in der Nachbearbeitung



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit.

Sebastian Goossens
Produktionssysteme Audio

Institut für Rundfunktechnik
Floriansmühlstraße 60
80939 München

Tel. +49-(0)89-32399-358
Fax +49-(0)89-32399-351
E-Mail: goossens@irt.de

Die Folien/Dokumente sind durch das Urheberrecht geschützt.
Eine Vervielfältigung ist nur mit Genehmigung des Verfassers gestattet.
Dieser Urheberrechtshinweis darf nicht entfernt werden.