

Klangoptimierung von HiFi-Racks durch Einsatz von Resonator-Technologie



Mit freundlicher Unterstützung
und in Zusammenarbeit mit

**Fachhochschule
Dortmund**

University of Applied Sciences
Dortmund

Schwingungs- und Schallreduktion technischer Systeme mit Resonatoren

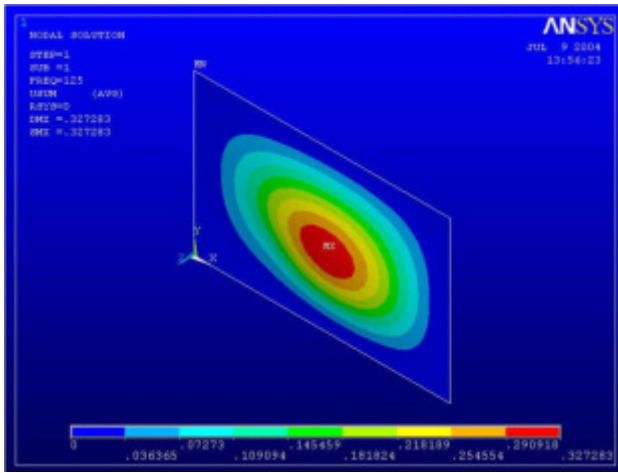


Akustik-Dummy mit PULSE-System zur Messung des Luftschalldruckpegels

In Forschungs Kooperation mit der Fachhochschule Dortmund entwickelte finite elemente eine Klangoptimierung der pagode° Master Reference- und Edition-Racks durch den Einsatz von Resonatoren, relativ kleinen, balkenförmigen Zusatzbauteilen, die im Rack montiert werden und angeregte Resonanzschwingungen anstelle der großflächigen Geräteebenen ausführen, unhörbar aufgrund ihrer kleinen Schallabstrahlungsfläche.

Das patentrechtlich gemeldete Verfahren basiert auf mechanischen Energieprinzipien zur mathematischen Bestimmung der Resonatorgeometrie. Resonanzschwingungen des Racks werden vermieden, indem die naturgemäß leichter anregbaren und klangneutralen Resonatoren die störende Schwingungsenergie dissipieren, d.h. in Wärmeenergie umwandeln. Wird eine Geräteebene des Racks durch Umgebungs- oder Lautsprecherschall angeregt, so wird diese Systemkomponente in klangstörende Schwingungen versetzt. Resonatoren in der Geräteebene montiert, übernehmen die zugeführte Schwingungsenergie und bewegen sich anstelle der Geräteebene.

Schwingungs- und Schallreduktion technischer Systeme mit Resonatoren

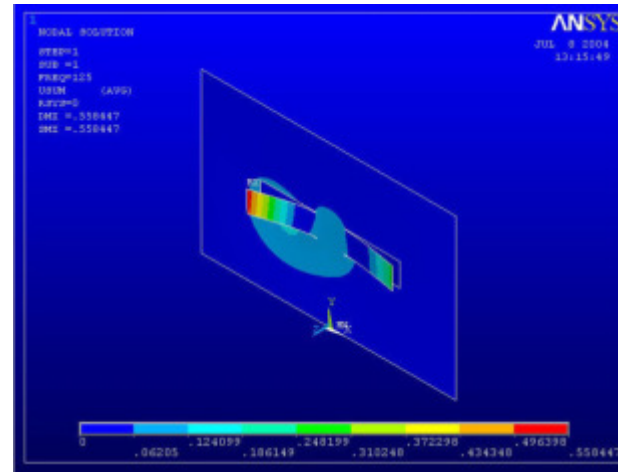


ROT = maximale Schwingung, BLAU = keine Schwingung

Modalanalyse ohne Resonator

- Eigenresonanz: 125 Hz
- Fläche schwingt mit starker Amplitude
- 80% starker Schwingungsanteil
20% schwingungsfrei

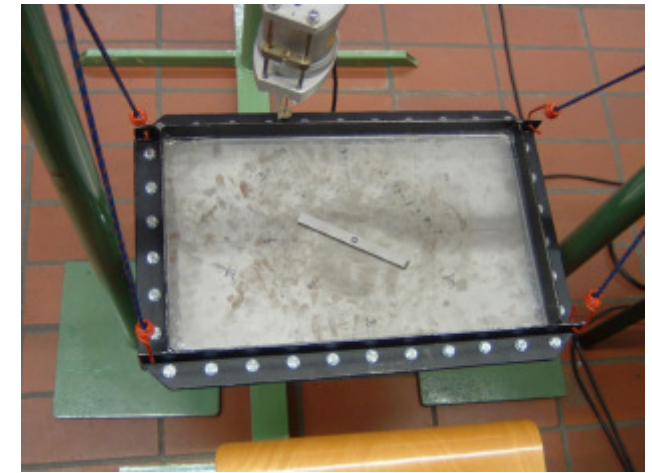
Ergebnis: Extremer Klangverlust durch Störresonanzen



Modalanalyse mit Resonator

- Doppelresonator berechnet auf 125 Hz, einseitig eingespannt
- Fläche schwingt minimal
- Resonator schwingt anstelle der Fläche
- 90% schwingungsfrei
10% reduzierter Schwingungsanteil

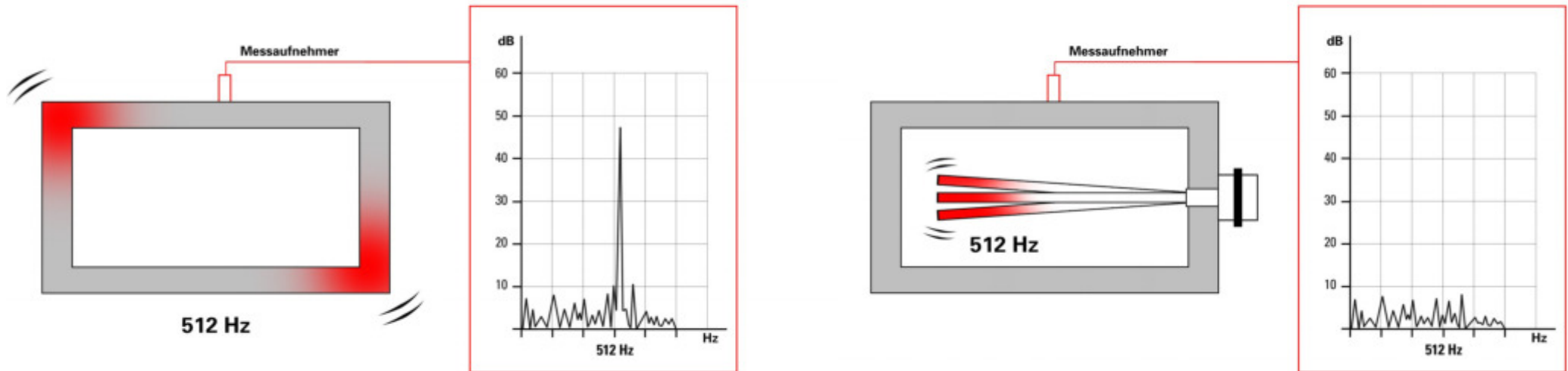
Ergebnis: Erhebliche Klangverbesserung durch geringste Eigenresonanzen



Versuchsaufbau mit Resonator

- Doppelresonator 125 Hz auf allseitig eingespannter Metallplatte

Funktionsprinzip des Resonators in einem Pagode-Rack



Schwingungsamplituden innerhalb von technischen Systemen, die durch Luft- oder Körperschall angeregt werden, lassen sich durch Integration oder Adaption von Resonatoren deutlich reduzieren. Resonatoren sind balkenförmige Metallstäbe, die mit ihrer ersten Eigenfrequenz auf die Erregerfrequenz oder die Systemeigenfrequenz ausgelegt sind. Große Anteile der kinetischen Energie – bei Eigenerregung bis zu 90%, bei Zwangserregung bis zu 70% – werden von den Resonatoren unhörbar in Wärme umgewandelt. Das Beispiel zeigt den Amplitudenverlauf mit und ohne Resonator bei 512 Hz.

Ausführung:

- einseitig in Edelstahlzylinder eingespannter Metallstab
- Resonatorgeometrie exakt berechnet auf 512 Hz
- Edelstahlzylinder flächenkontaktierend mit zu bedämpfendem System verschraubt

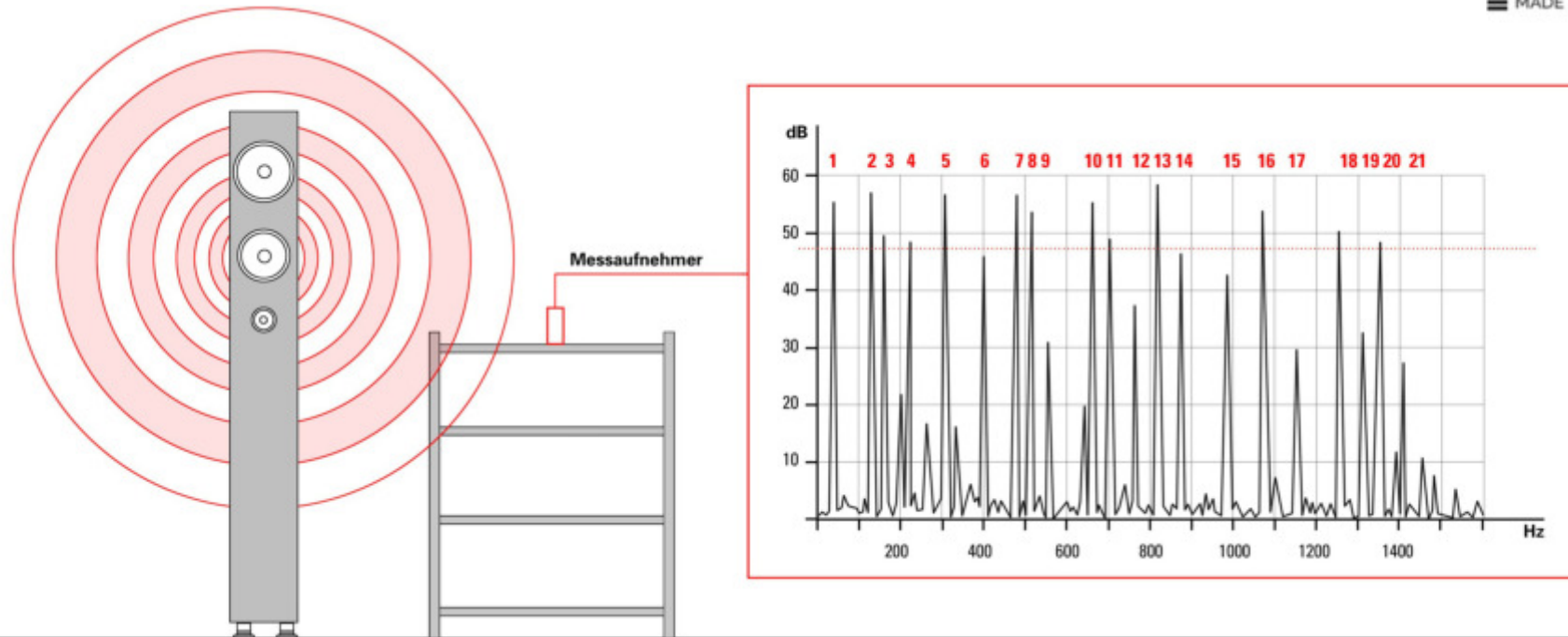
Messergebnis ohne Resonator:

- sehr hohe Amplitude bei 512 Hz
- Nebengebiete oberhalb und unterhalb von 512 Hz mit erhöhten Amplituden

Messergebnis mit Resonator:

- Amplitude bei 512 Hz um Faktor 6 reduziert
- Bandbreitenwirkung des Resonators (+/- 10%) reduziert ebenfalls Amplituden oberhalb und unterhalb von 512 Hz

Konventionelles HiFi-Rack



Ausführung:

- konventionelle Konstruktion
- Stahlrohr geschweißt oder geschraubt
- Geräteebenen in MDF massiv
- alternativ in anderer Holzart mit Sand- und/oder Bleischrotfüllung
- unzureichende Balance von Dämpfung und Ableitung

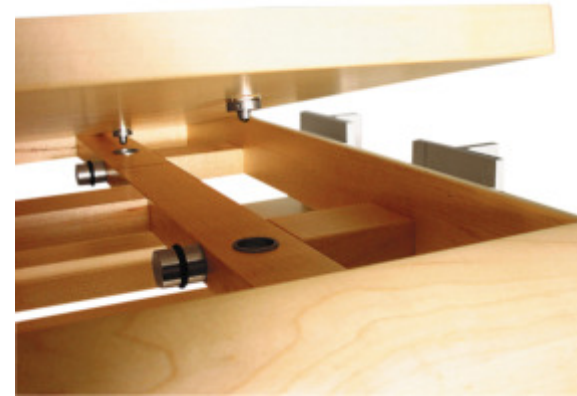
Messergebnis:

- unkontrolliertes Schwingungsverhalten
- sehr viele klangschädigende Störresonanzen
- zu viele hohe Amplituden
- hohe Schalldruckwerte = deutlich hörbar bei Musikwiedergabe

Auswirkung:

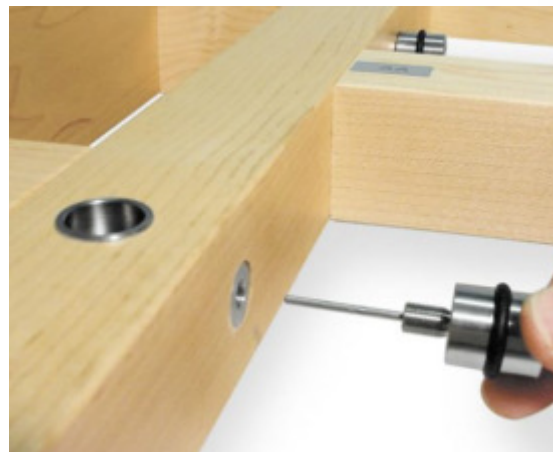
- komprimiertes und konturloses Klangbild
- fehlende Transparenz
- eingeschränkte Dreidimensionalität
- tonale Verschiebungen
- ungenügende Detailauflösung
- begrenzter Dynamikumfang

Pagode Master-Reference/Edition MKII - Konstruktionsaufbau

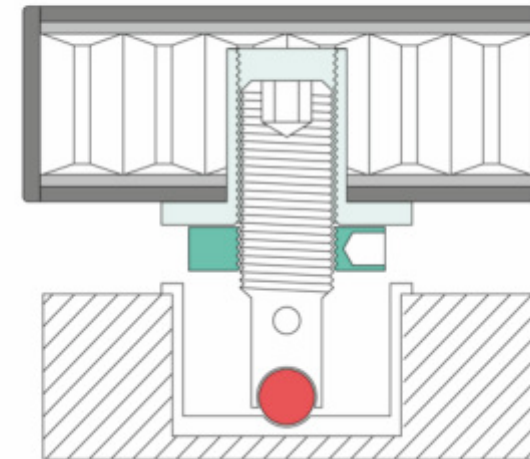


Ausführung:

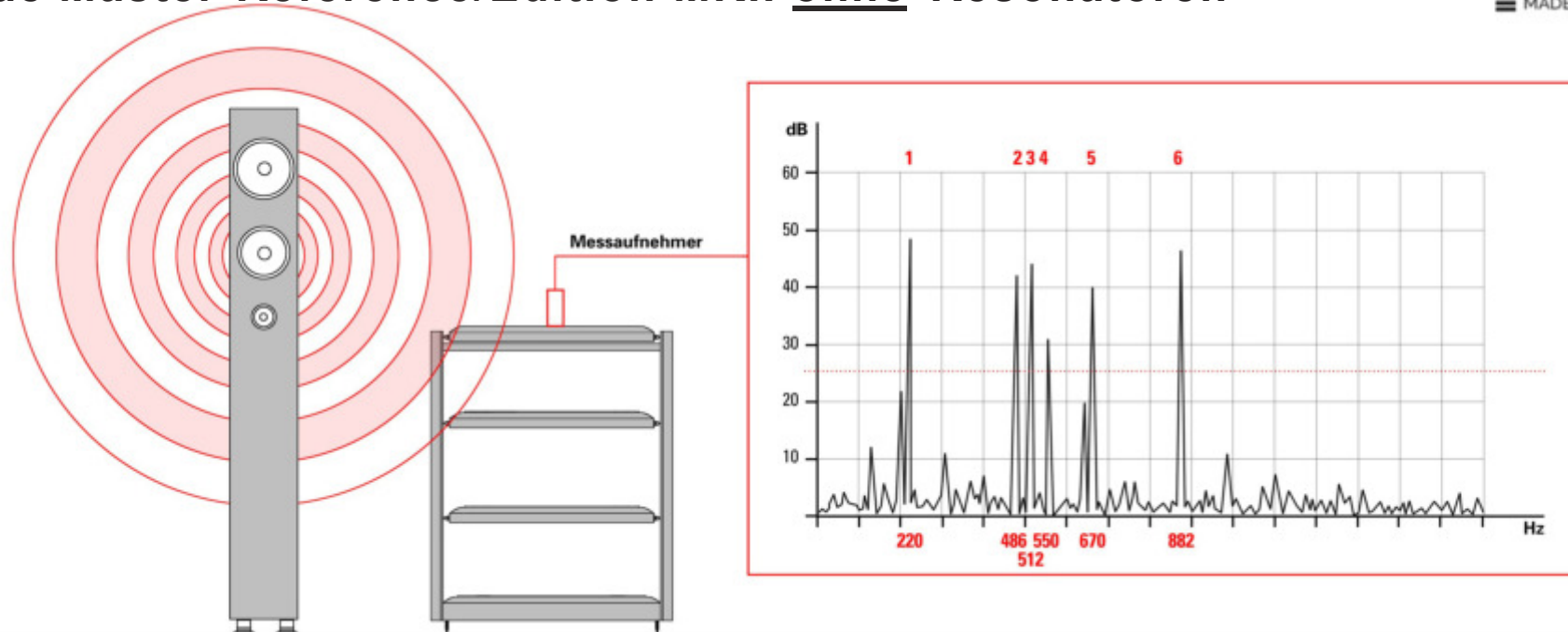
- klangoptimierte Leichtbau-Konstruktion
- Seitliche T-Profile in massivem Aluminium
- Geräteebenen als Holzrahmen in massivem kanadischem Ahorn
- mittels Keramik-Kugelbolzen definiert angekoppelte Einlegeböden mit ultraleichtem Wabenkern
- horizontale Verspannung der Geräteebenen mittels Edelstahlspikes zwecks gegenseitiger Bedämpfung
- Ausgewogene Balance von Dämpfung und Ableitung



Honeycomb core shelf with ceramic ball coupling



Pagode Master-Reference/Edition MKII ohne Resonatoren



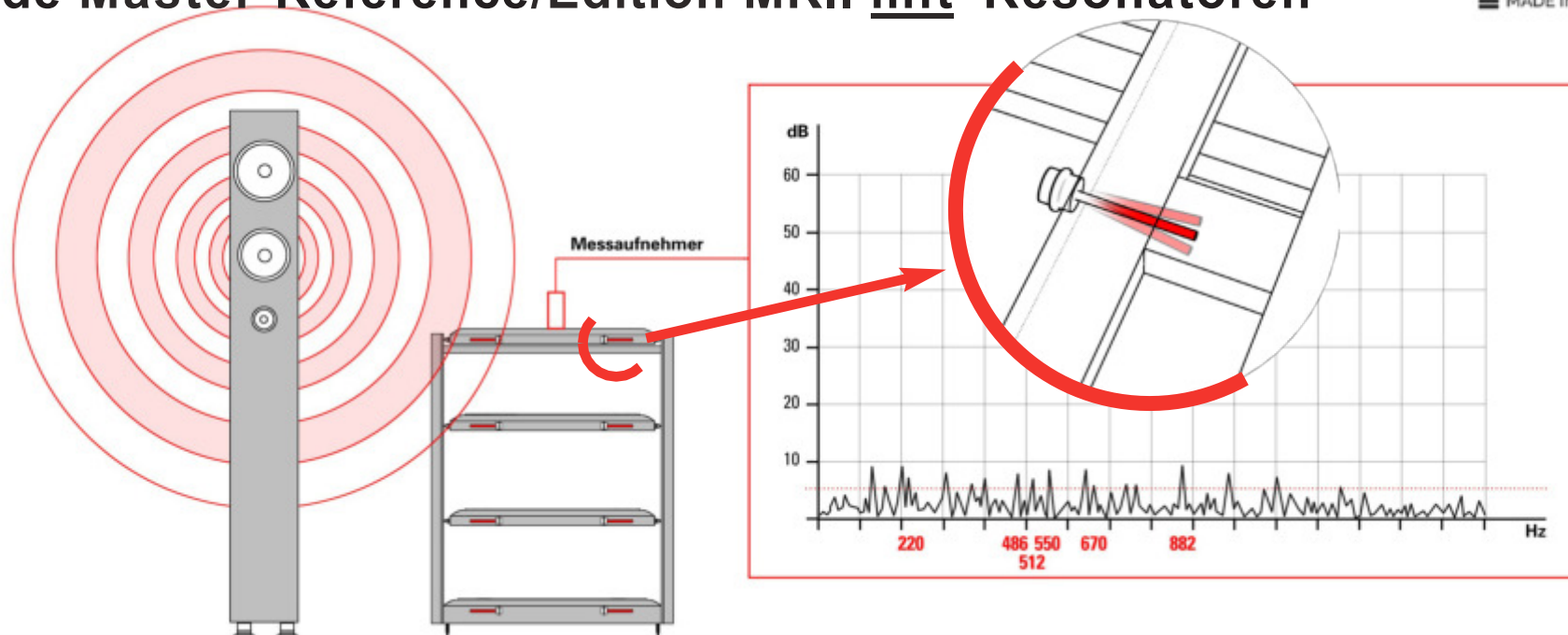
Messergebnis:

- optimiertes Schwingungsverhalten
- nur noch sechs Eigenresonanzen: 220 Hz, 486 Hz, 512 Hz, 550 Hz, 670 Hz, 882 Hz
- Reduzierung der höchsten Amplituden
- deutlich verringerte Schalldruckwerte
= kaum noch hörbar bei Musikwiedergabe

Auswirkung:

- offenes und konturiertes Klangbild
- hohe Transparenz
- ausgedehnte Dreidimensionalität
- korrekte Tonalität
- sehr gute Detailpräzision
- großer Dynamikumfang

Pagode Master Reference/Edition MKII mit Resonatoren



Ausführung:

- Konstruktion wie Pagode Master Reference/Edition
- kontrollierte Resonanzdämpfung mittels Resonatoren
- Vier Resonatoren pro Ebene, exakt berechnet auf die 6 Eigenresonanzen des Beispielracks: 220 Hz, 486 Hz, 512 Hz, 550 Hz, 670 Hz, 882 Hz

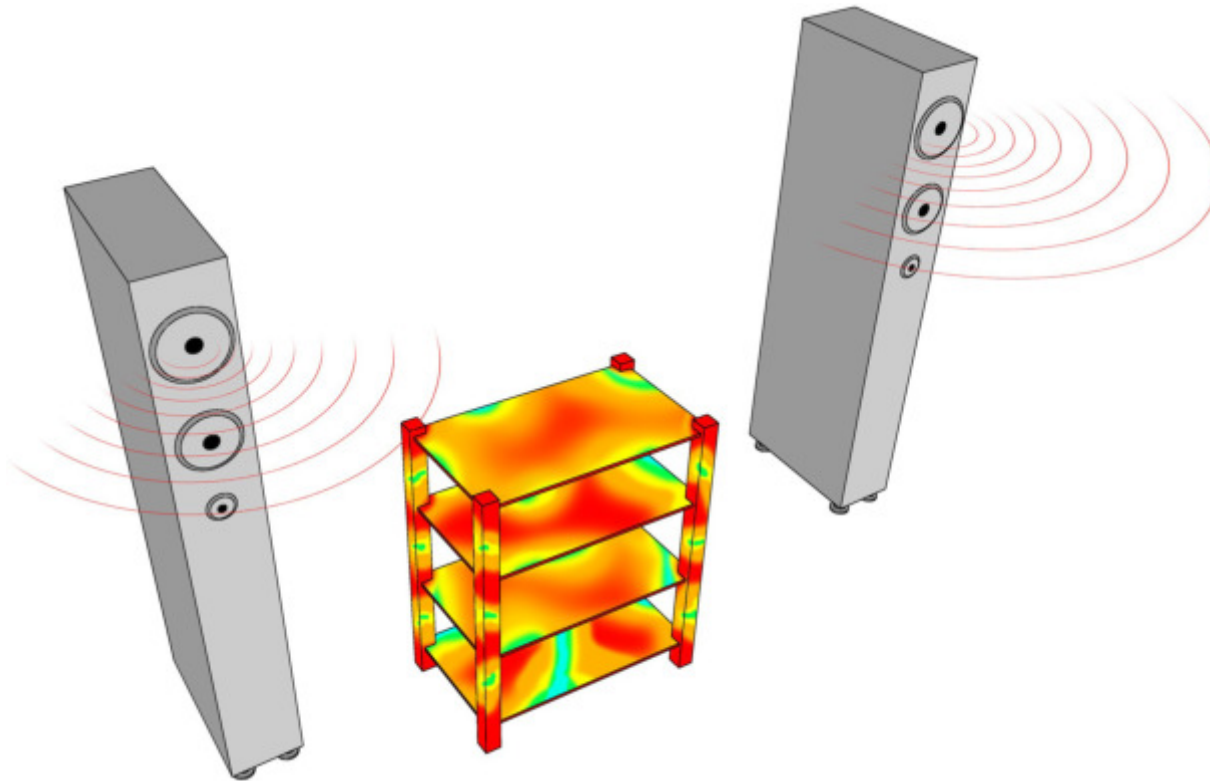
Messergebnis:

- perfekt kontrolliertes Schwingungsverhalten
- keine klangbeeinflussenden Eigenresonanzen
- drastisch minimierte Schalldruckwerte = nicht mehr hörbar bei Musikwiedergabe

Auswirkung:

- überragend offene und konturierte Musikwiedergabe
- hervorragende Transparenz
- holographische Dreidimensionalität
- perfekte Tonalität
- exzellente Detailpräzision
- herausragende Dynamik
- extrem kohärentes Klangbild

Modalanalyse eines konventionellen HiFi-Racks



Legende:

-  keine Schwingung
-  minimale Schwingung
-  geringe Schwingung
-  mittelstarke Schwingung
-  starke Schwingung
-  maximale Schwingung

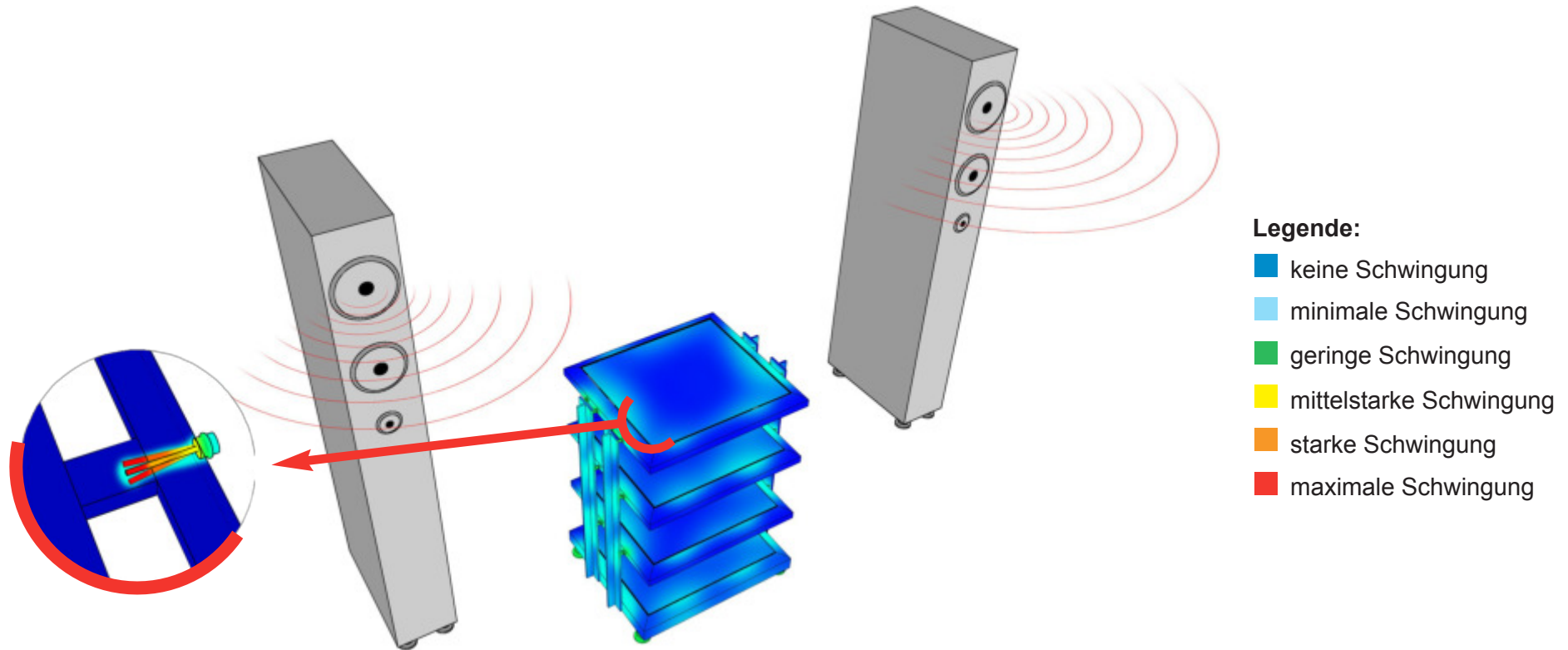
Messergebnis:

- unkontrolliertes Schwingungsverhalten
- sehr viele klangschädigende Störresonanzen
- zu viele hohe Amplituden
- hohe Schalldruckwerte = deutlich hörbar bei Musikwiedergabe

Auswirkung:

- komprimiertes und konturloses Klangbild
- fehlende Transparenz
- eingeschränkte Dreidimensionalität
- tonale Verschiebungen
- ungenügende Detailauflösung
- deutlich eingeschränkte Grob- und Feindynamik

Modalanalyse eines Pagode Master Reference/Edition MKII



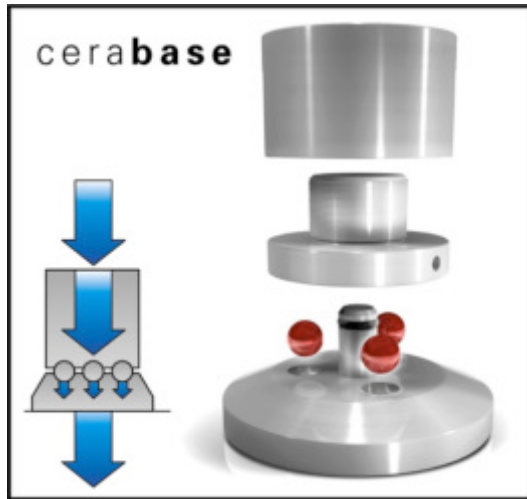
Messergebnis:

- perfekt kontrolliertes Schwingungsverhalten
- keine klangbeeinflussenden Eigenresonanzen
- drastisch minimierte Schalldruckwerte = nicht mehr hörbar bei Musikwiedergabe

Auswirkung:

- überragend offene und konturierte Musikwiedergabe
- hervorragende Transparenz
- holographische Dreidimensionalität
- perfekte Tonalität
- exzellente Detailpräzision
- herausragende Dynamik
- extrem kohärentes Klangbild

Optimierte Geräteaufstellung durch Einsatz von ankoppelnden CERA°-Stellfüßen



„The improvement in low-level resolution was dramatic, with increased focus, transparency and separation. Highly recommended.“

(HIFI plus, England)



Am Heimekesberg 11
33106 Paderborn
Deutschland

Fon (05254) 64557
Mail info@finite-elemente.eu
Web www.finite-elemente.eu

Fachhochschule Dortmund

University of Applied Sciences
Dortmund

Labor für Schwingungstechnik und Akustik
Prof. Dr.-Ing. Thomas Borchert
Sonnenstraße 96 - 100
D-44139 Dortmund

Tel. ++49-(0) 231-9112-292
Fax ++49-(0) 231-9112-334

thomas.borchert@fh-dortmund.de
www.fh-dortmund.de