

Akustisch „optimale“ Materialien für Lautsprechergehäuse

Dipl.-Ing. Th. Ahlersmeyer

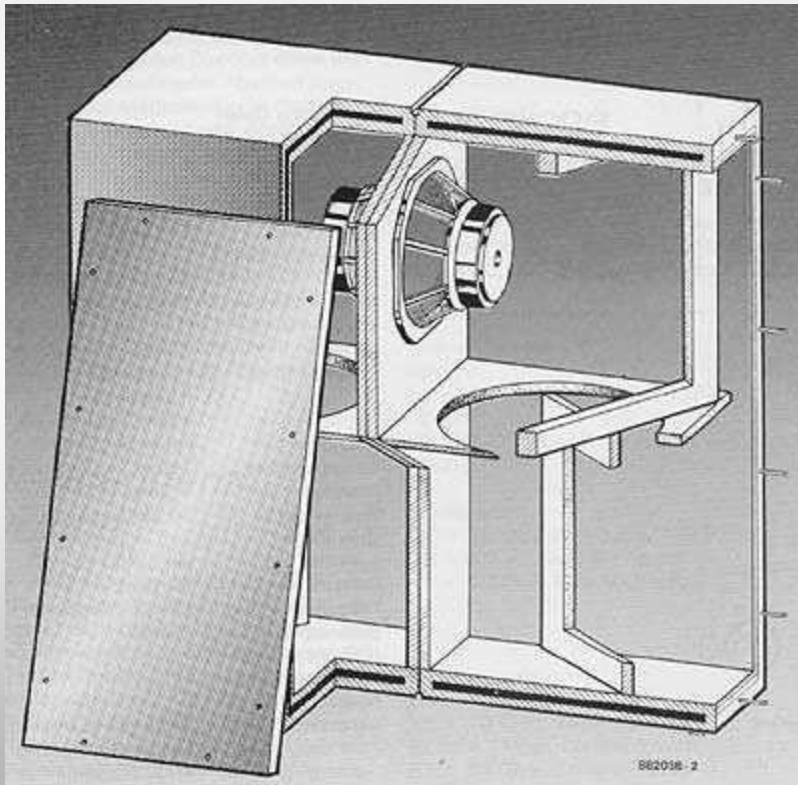
info@picosound.de

In der Literatur gibt es mehrere Untersuchungen zum Thema „optimales“ Material für Lautsprechergehäuse:

In einer Untersuchung der **BBC** ([H.D. Harwood & R. Matthews: Factors in the Design of Loudspeaker Cabinets](#)) wird **9 mm Sperrholz mit 3 Lagen Bostik** (ca. 5.5 mm dicker Dämpfungsbelag) als „bester“ Kompromiss empfohlen, wobei auch Kosten und Verarbeitung mit einbezogen wurden. Hier wurde zum einen der **E-Modul** und die **Dämpfung** in einem **Biegeschwivungsversuch** ermittelt und die Ergebnisse schließlich im **Hörversuch** bestätigt.

Viele Monitor-Lautsprecher der BBC wurden mit **12 mm Birken-sperrholz** und bis zu **12 mm starken Dämpfungsbelägen** hergestellt.

In der Elektor Plus Nr. 8/1988 wurde von F. Hausdorf ein Artikel zum Thema Boxenbaumaterialien veröffentlicht. Hier wurden viele verschiedene Materialien in einem **Prinzipversuch** ausprobiert (resonanzarmes Gehäuse mit



„innerer“ Luftschallanregung wird durch verschiedene Materialien „rechts“ abgeschlossen).

Der „äußere“ Luftschalldruck etwa 50 cm vor der Mitte der Platte ist ein Maß für die akustische Qualität des Materials.

Hier wird einer **2 mm starken Bitumenschicht auf 19 mm Spanplatte** keine nennenswerte Wirkung bescheinigt, während die Kombination **19 mm Weichfaserdämmplatte und 19 mm Spanplatte** sehr gute Ergebnisse zeigt (warum das den Fachmann nicht weiter wundert wird im Abschnitt „wie funktioniert Dämmung bzw. Dämpfung“ erklärt). Außerdem ist der Vergleich stark unterschiedlich dicker Aufbauten natürlich auch etwas „unfair“.

Eine sehr ähnliche Untersuchung wurde in der Zeitschrift **Hobby - HiFi** 01+02/2002 mit ähnlichen Materialien wiederholt. Auch hier wurden zum Teil „unsinnige“ Materialkombinationen getestet (der Einsatz eines einzelnen Beschleunigungsaufnehmers auf der Plattenmitte trug auch nicht unbedingt zum Verständnis bei).

Wie funktioniert Dämmung bzw. Dämpfung?

Bei der „idealen“ **Dämmung** wird der Schalldurchgang durch **biegeweiche** Materialien allein durch deren **Masse** erschwert. Eine Verdoppelung des Flächengewichts reduziert den Schalldurchgang um bis zu 6 dB (sog. „Massengesetz“).

Reale Gehäusematerialien sind allerdings nicht biegeweich (z.B. Gummi) sondern steif (z.B. Holz). Durch die **Steifigkeit** kann ein Punkt „fremde“ Massen (= benachbarte Punkte) ankoppeln, so dass das wirksame Flächengewicht steigt.

Diese Ankopplung klappt aber nur bei **tiefen Frequenzen**, darüber kommt es **unweigerlich** zu **Eigenresonanzen**.

Die Resonanzüberhöhung kann durch **Dämpfung** reduziert werden. Dazu muss der Dämpfungsbelag dem Basismaterial aber eine gewisse „**Zähigkeit**“ entgegensetzen.

Gehäusewände werden bevorzugt zu **Biegeschwingungen** angeregt, so dass der Biegesteifigkeit **B** eine besondere Bedeutung bei der Beurteilung der Schwingneigung zukommt. Die Biegesteifigkeit **B** eines Materials hängt vom E-Modul **E** und der Materialdicke **h** ab: $B \text{ [Nm]} \approx E \text{ [N/m}^2\text{]} \cdot h \text{ [m]}^3$

Bei normaler, einseitiger Belegung muss die Biegesteifigkeit des Dämpfungsmaterials **etwa 10%** des Basismaterials betragen um eine optimale Wirkung zu zeigen. Da bereits der E-Modul des Dämpfungsbelages häufig niedriger als das Basismaterial ist muss also die Dicke mindestens die Hälfte der Basisdicke betragen! Darum eben zeigen 2 mm Bitumen auf 19 mm MDF so gut wie keine Wirkung, obwohl die Eigendämpfung des Bitumens mit 0.5 **wesentlich** höher als die von Holz ist (0.01 - 0.03)!

Eingezwängter Belag:

Die Schichtdicke kann nur durch einen **eingezwängten Belag** (= Sandwich) reduziert werden. Hier wird das Dämpfungsmaterial auf **Scherung** belastet, was „schwieriger“ ist und daher die Gegenkraft des Materials erhöht. Die **Deckschicht** muss eigentlich nur zug- und druckfest sein.

Ganz wesentlich ist auch die **Verklebung** der Schichten.

Darauf wurde schon im BBC-Report hingewiesen. Dort wurde ein solches Sandwichmaterial wegen der hohen **Produktions- und Handlingkosten** allerdings nicht weiter berücksichtigt. Da zumindest die Handlingkosten im Hobbybereich eher nebensächlich sind kann man sich dort die günstigen Eigenschaften dieser Sandwichaufbauten zunutze machen.

Weiterführende Literatur:

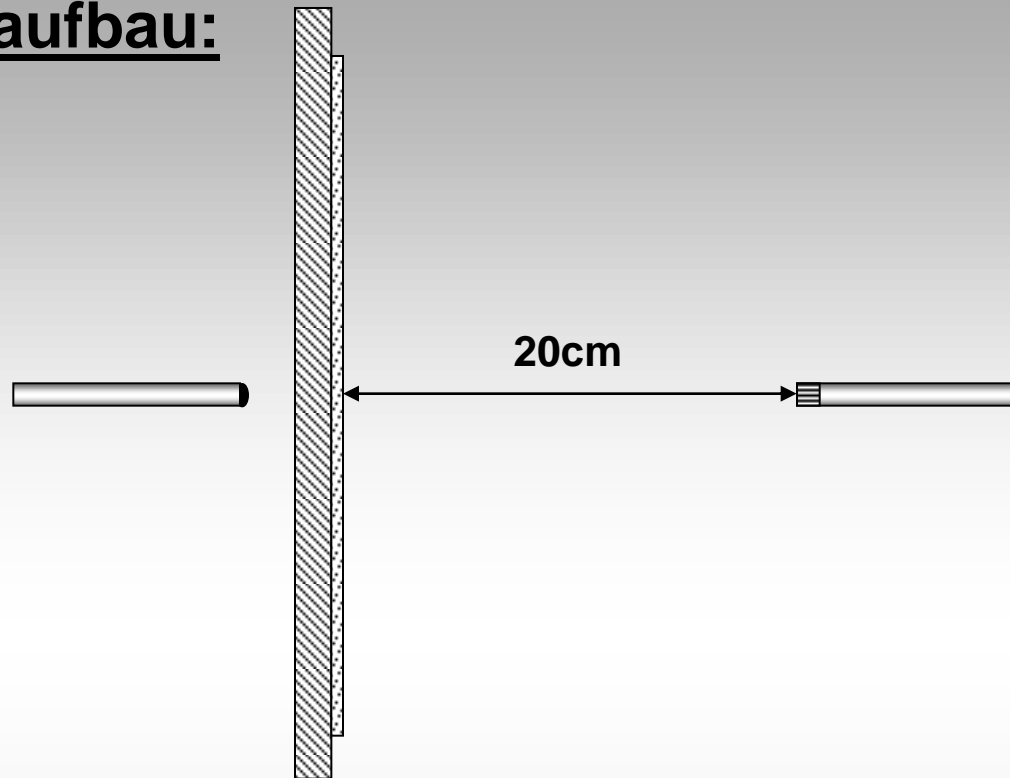
Wer noch tiefer in diese Materie eindringen will dem sei der Band 216 der Technischen Akademie Esslingen empfohlen:
H. Gahlau / Geräuschminderung durch Werkstoffe und Systeme, 1986, ISBN 3-8169-0154-9

Ziel der Untersuchungen:

Es sollte eine Materialkombination gefunden werden, die bei einer Gesamtstärke von etwa 22 mm ein deutlich besseres Verhalten als 22 mm MDF (mit oder ohne Ringversteifung) aufweisen sollte.

Aus verarbeitungspraktischen Gründen wurde als Basismaterial 16 mm MDF gewählt. Da mir der Elektor-Aufbau zu aufwändig war, habe ich einfach 24 x 34 cm große Basismaterialien auf einer Fläche von 20 x 30 cm mit verschiedenen Materialien belegt. Diese Kombination wurde auf der „Außenseite“ mit einem Stößel mit einer kleinen Gummikalotte möglichst gleichmäßig angeregt und das abgestrahlte Geräusch auf der „Innenseite“ in 20 cm Entfernung aufgezeichnet (WAV-Datei).

Versuchsaufbau:



Das Basismaterial wurde oben mit 2 Fingern gehalten, mit dem Stößel wurde mit etwa gleichbleibender Kraft mehrmals gegen die Materialkombination geklopft (dies entspricht etwa einem „Anklopfen“ mit dem Fingerknöchel, tut auf Dauer nur nicht so weh ;-)).

Aussagefähigkeit der Ergebnisse:

Dieser Test stellt natürlich nur eine **grobe Vereinfachung** der wirklichen Verhältnisse dar. Dennoch spiegeln sich in den Ergebnissen die physikalischen Zusammenhänge wieder (z.B. X% dickere Platte → X% höhere Resonanzfrequenz, mit steigender Dämpfung weniger ausgeprägte Resonanzen etc.). Außerdem sind die Unterschiede so deutlich zu hören und zu sehen, dass wohl kaum Zweifel an der **Tendenz** der Ergebnisse aufkommen dürfte. In wie weit ein „besseres“ Gehäuse wirklich hörbar besser ist hängt von verschiedenen Faktoren ab. Bei der BBC wurde z.B. die Wiedergabe männlicher Nachrichtensprecher beurteilt und bei zu „schlechten“ Gehäusen negative Einflüsse herausgehört.

Auswertung der Ergebnisse:

Zur Auswertung wurde ein **repräsentativer Einzelschlag** ausgeschnitten und statistisch analysiert (Minimum, Maximum, energetischer Mittelwert). Die Ergebnisse sind jeweils im **oberen** Bereich aufgelistet.

In der **Mitte** befindet sich jeweils das Zeitsignal, wobei es neben dem Maximum insbesondere auf die Länge des Abklingen als Maß für die Dämpfung ankommt.

Unten ist das Spektrogramm aufgezeichnet, wobei von jeweils 512 Werten (Abtastfrequenz 22050 Hz) ein 1/12 Oktavspektrum berechnet wurde. Die Blöcke hatten eine Überlappung von 75%. Damit wird eine Frequenzauflösung von 44 Hz und eine zeitliche Auflösung von 6 ms erreicht.

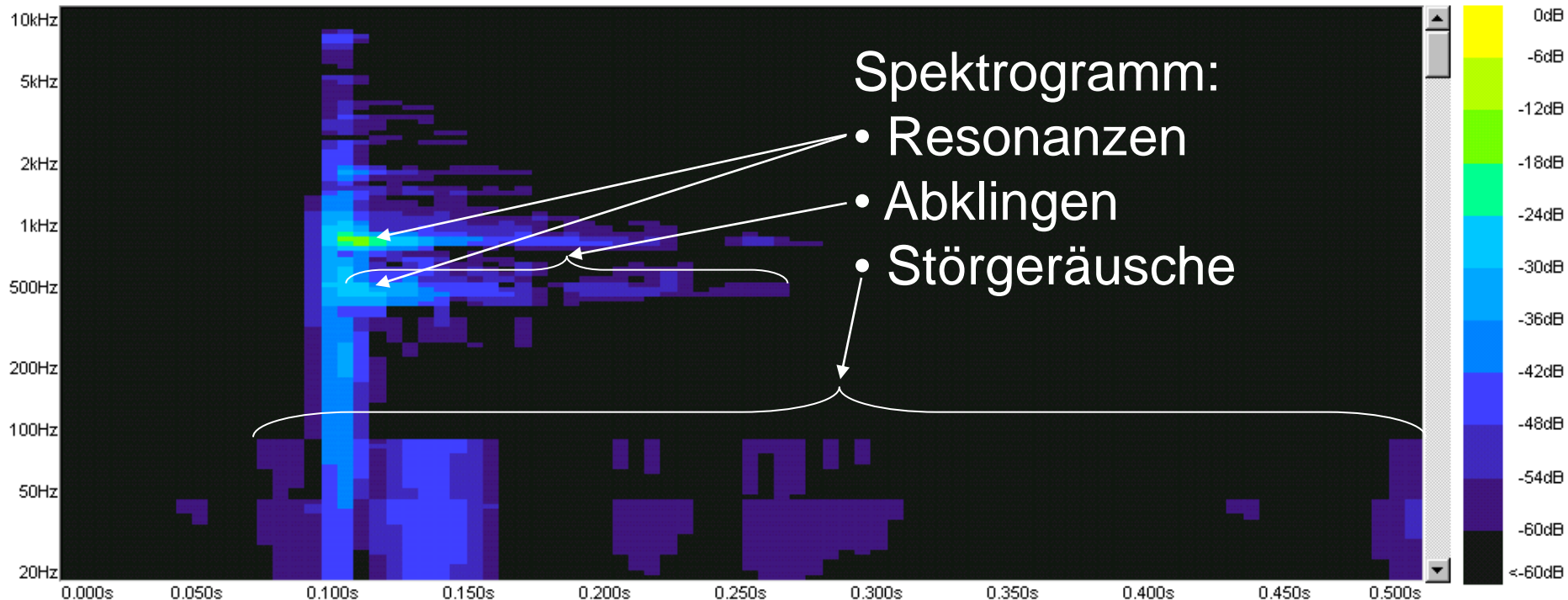
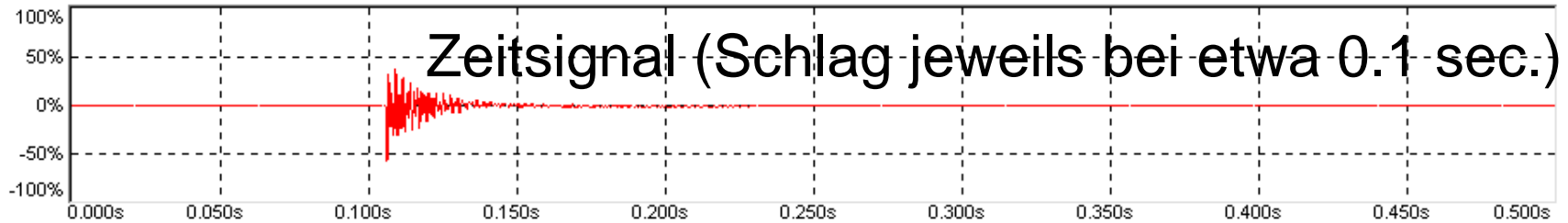
Filename: c:\Eigene Dateien\Lautsprecher\GehäuseMaterial\Span22roh_1.wav
Filelength: 0.021 MB
Nr of channels: 1 (Mono)
Sample frequ.: 22050 Hz
Resolution: 16 bit
Length of file: 00:01 (Min:Sec)
Channel Min @ sec. Max @ sec. Avg Rms
1 -56.54% 0.106 39.61% 0.109 0.16% 3.33%

Statistische Auswertung

Play

Stop

Copy results



Es folgt eine **Übersicht** aller untersuchter Materialien mit Links zu den WAV-Dateien sowie zu den graphischen Auswertungen. Schließlich ist noch eine Graphik der Schalldruckpegel (gemittelt über 0.5 sec.) zu finden. Diese zeigt ganz deutlich, dass ein Sandwich aus 16 mm MDF + 4 mm Bitumen + 4 mm Sperrholz keine ausgeprägten Resonanzen aufweist und somit maximal „tot“ klingt. Dies unterstützt auch das zugehörige WAV-File sehr deutlich.

- ⇒ Für 2-Wege-Lautsprecher, Breitbandlautsprecher und Mitteltongehäuse ist diese Kombination daher optimal geeignet.
- ⇒ Für **Subwoofergehäuse** ist eine maximal **steife** Ausführung mit **Ringversteifungen** vorzuziehen, da die relativ hoch liegenden Plattenresonanzen dort nicht angeregt werden.

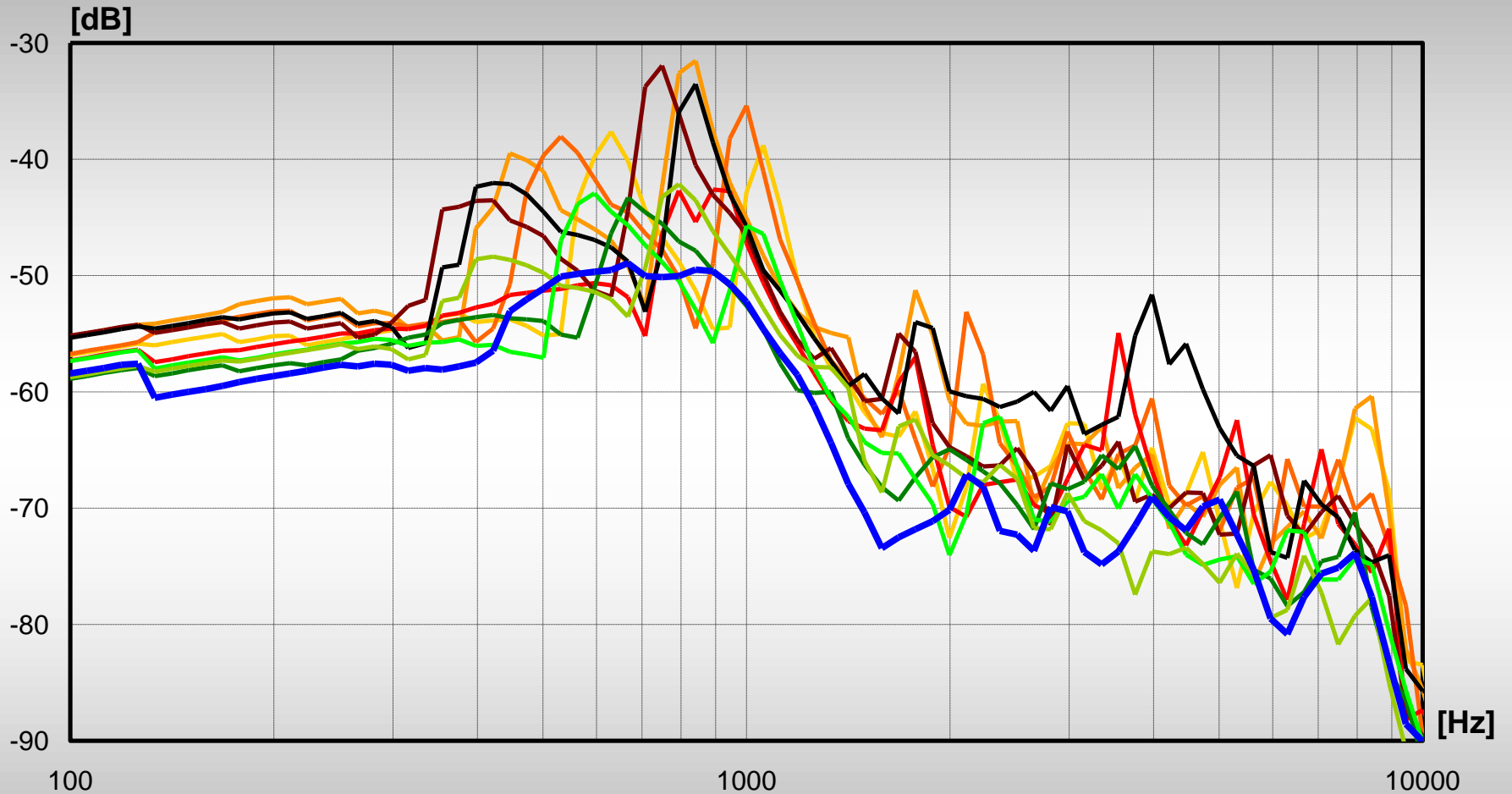
Untersuchte Materialien

No	Material	Stärke [cm]	Fl_Gew [kg/m ²]	Kosten [€/m ²]
<u>1</u>	Spanplatte 22mm	2.20	14.46	10.19
<u>2</u>	Spanplatte 28mm	2.80	18.08	9.67
<u>3</u>	MDF 22mm	2.20	16.24	16.84
<u>4</u>	MDF 22mm + Versteifung 30mm	2.20	18.00	18.00
<u>5</u>	MDF 16mm	1.60	11.70	11.29
<u>6</u>	MDF 16mm + Kleber 2.5mm + Sperrholz 4mm	2.25	18.37	44.38
<u>7</u>	MDF 16mm + Bitumen 4mm	2.00	25.20	58.76
<u>8</u>	MDF 16mm + Kleber 1.5mm + Fliese 6mm	2.45	30.37	31.97
<u>9</u>	MDF 16mm + Kleber 0.5mm + Weichfaser 10mm	2.65	16.04	22.13
<u>10</u>	MDF 16mm + Bitumen 4mm + Kleber + Sperrholz 4mm	2.45	28.54	72.02

(.wav) → [Vergleich der mittleren Schalldruckspektren](#)

Die Kosten für Material 10 lassen sich auf ca. 28 €/m² senken, wenn statt des selbstklebenden Materials von INTERTECHNIK (47.47 €/m²) nicht selbstklebende Bitumen-Schweißbahn V4 aus dem Baumarkt (5 m² ca. 16 € bei 4mm Stärke) sowie als Deckschicht 3.2mm Hartfaserplatte (3.20 €/m²) verwendet wird. Dabei wird allerdings die doppelte Klebermenge (bei 0.05mm Dicke ca. 5 €/m² pro Schicht) benötigt und die Verklebung ist aufwändiger (2 Klebeschichten).

Gehäusematerialien



Arbeit28

Span2roh

MDF22roh

MDF22Verst

MDF16roh

MDF16WFP10

MDF16Fliese

MDF16KIDickSpan4

MDF16Bit4

MDF16Bit4Span4

Filename: c:\Eigene Dateien\Lautsprecher\GehäuseMaterial\Span22roh_1.wav

Filelength: 0.021 MB

Nr of channels: 1 (Mono)

Sample frequ.: 22050 Hz

Resolution: 16 bit

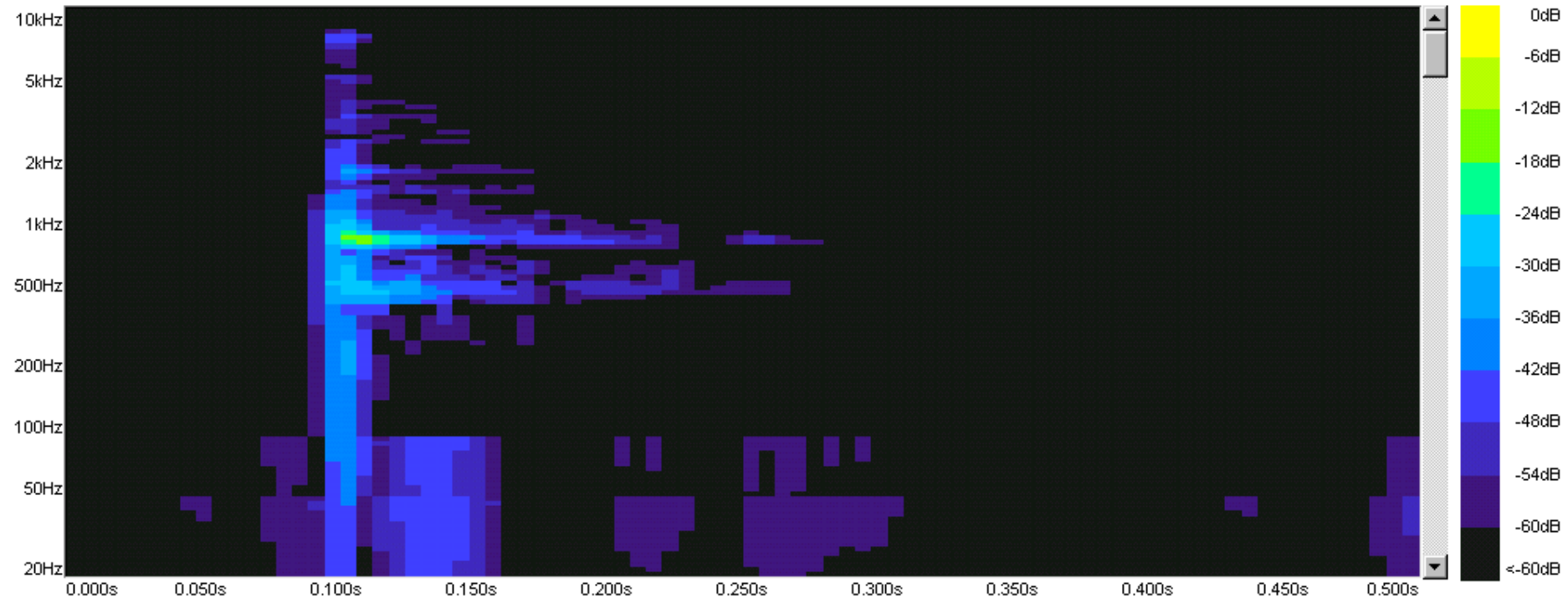
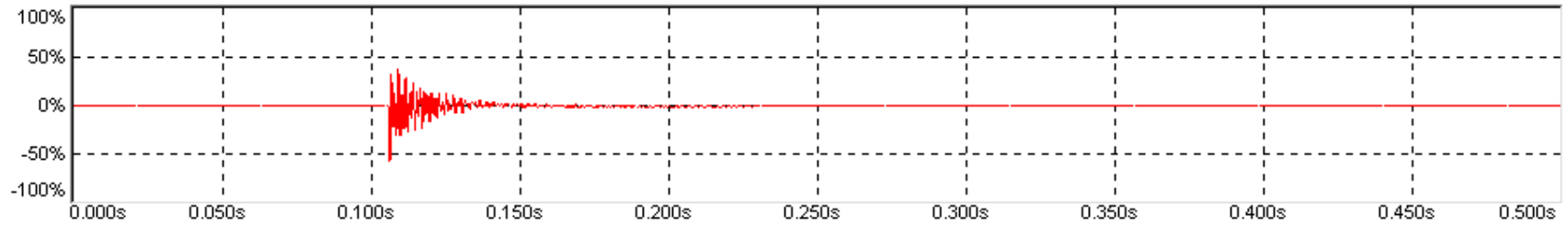
Length of file: 00:01 (Min:Sec)

Channel	Min	@ sec.	Max	@ sec.	Avg	Rms
1	-56.54%	0.106	39.61%	0.109	0.16%	3.33%

Play

Stop

Copy results



Filename: c:\Eigene Dateien\Lautsprecher\GehäuseMaterial\Arbeit28_1.wav

Filelength: 0.021 MB

Nr of channels: 1 (Mono)

Sample frequ.: 22050 Hz

Resolution: 16 bit

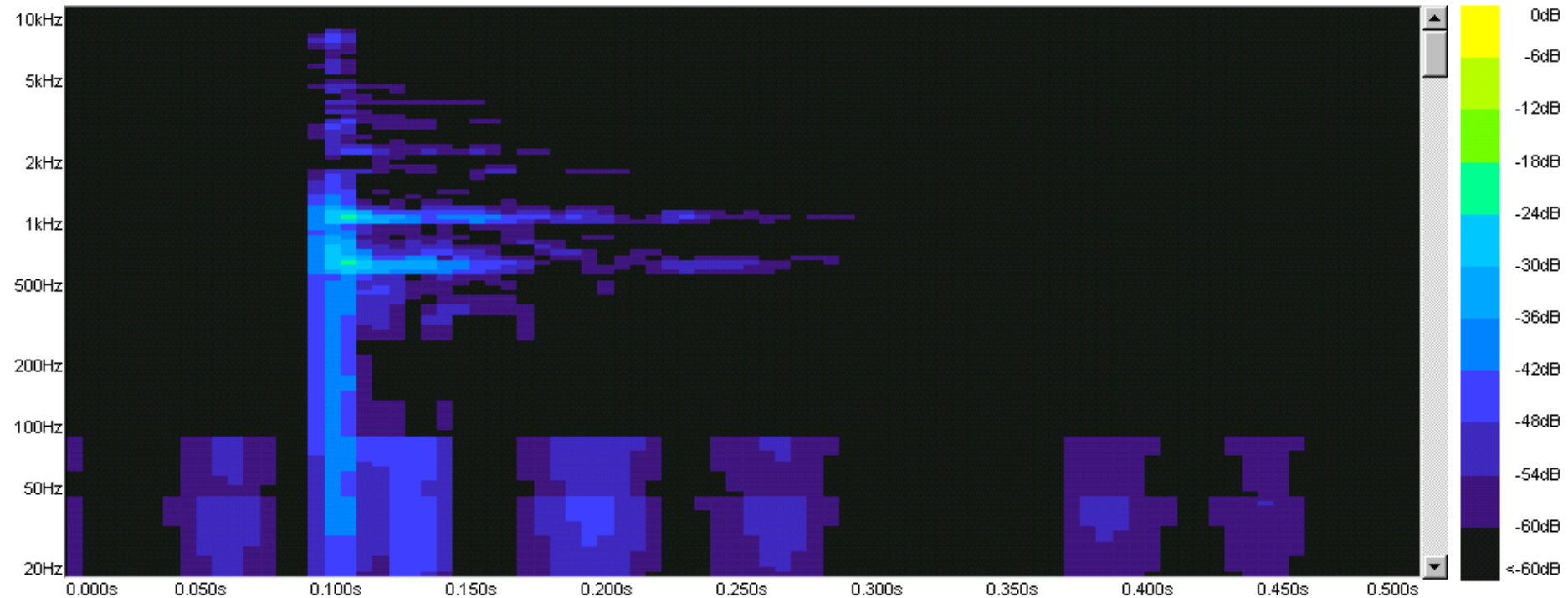
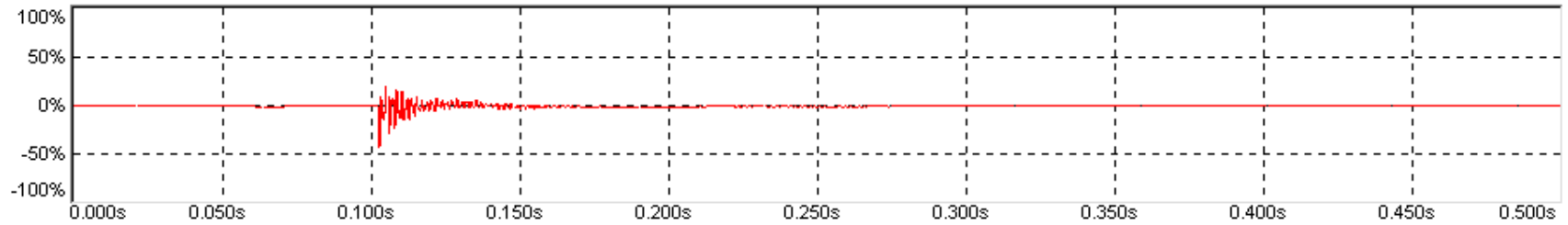
Length of file: 00:01 (Min:Sec)

Channel	Min	@ sec.	Max	@ sec.	Avg	Rms
1	-42.00%	0.103	20.54%	0.105	-0.32%	2.16%

Play

Stop

Copy results

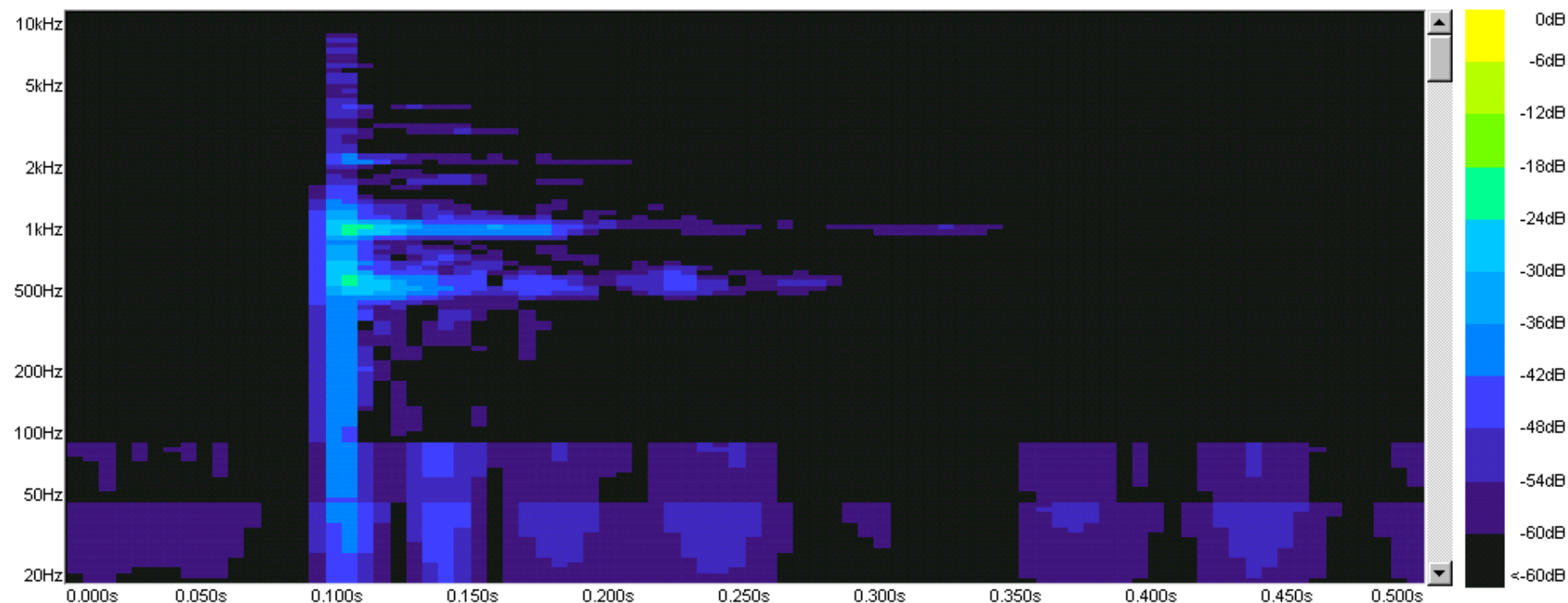
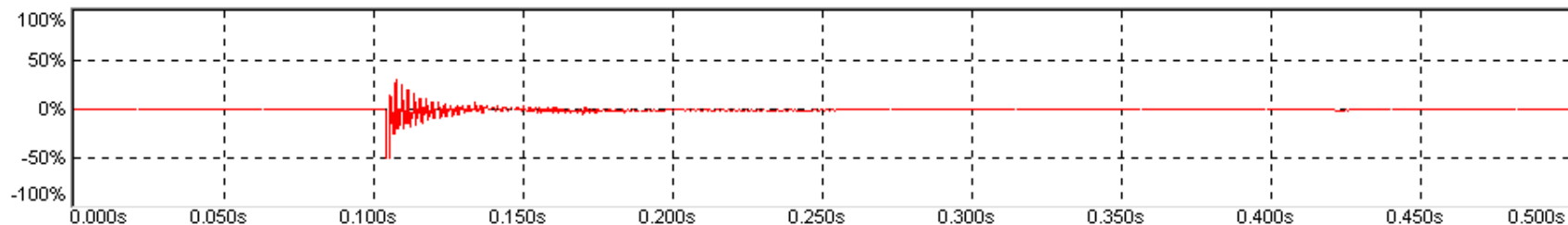


Filename: c:\Eigene Dateien\Lautsprecher\GehäuseMaterial\MDF22roh_1.wav
Filelength: 0.021 MB
Nr of channels: 1 (Mono)
Sample frequ.: 22050 Hz
Resolution: 16 bit
Length of file: 00:01 (Min:Sec)
Channel Min @ sec. Max @ sec. Avg Rms
1 -50.89% 0.105 32.75% 0.107 -0.39% 2.61%

Play

Stop

Copy results



Filename: c:\Eigene Dateien\Lautsprecher\GehäuseMaterial\MDF22\Verst_1.wav

Filelength: 0.021 MB

Nr of channels: 1 (Mono)

Sample frequ.: 22050 Hz

Resolution: 16 bit

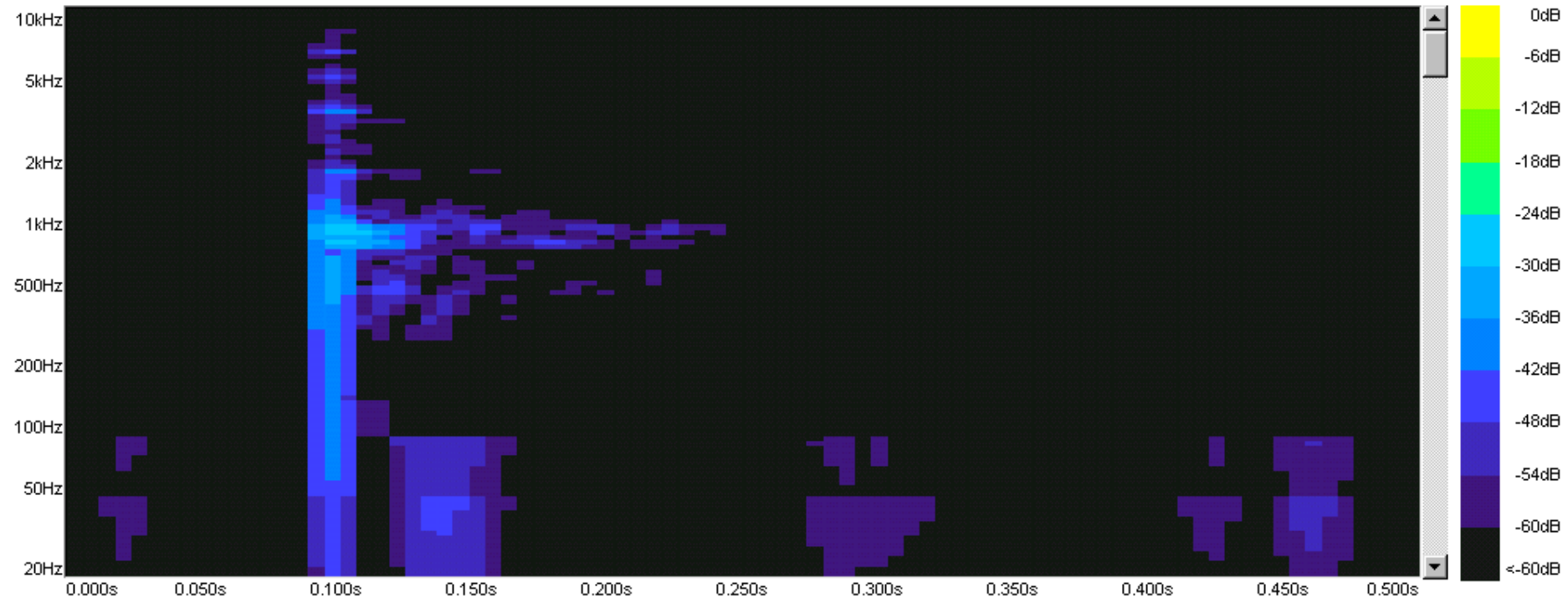
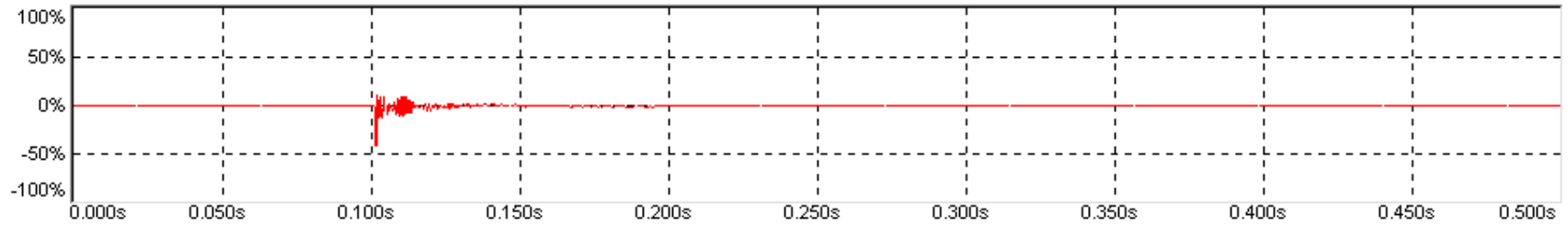
Length of file: 00:01 (Min:Sec)

Channel	Min	@ sec.	Max	@ sec.	Avg	Rms
1	-41.15%	0.102	11.62%	0.102	0.10%	1.48%

Play

Stop

Copy results



Filename: c:\Eigene Dateien\Lautsprecher\GehäuseMaterial\MDF16roh_2.wav

Filelength: 0.021 MB

Nr of channels: 1 (Mono)

Sample frequ.: 22050 Hz

Resolution: 16 bit

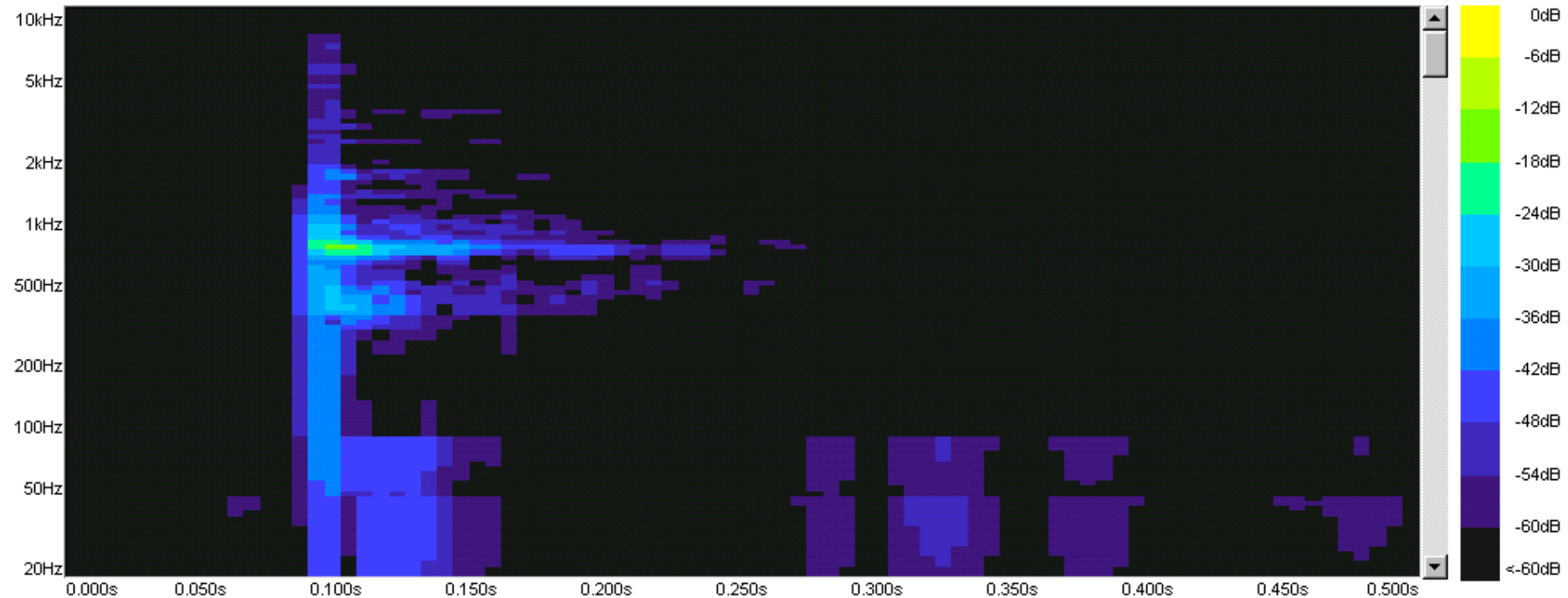
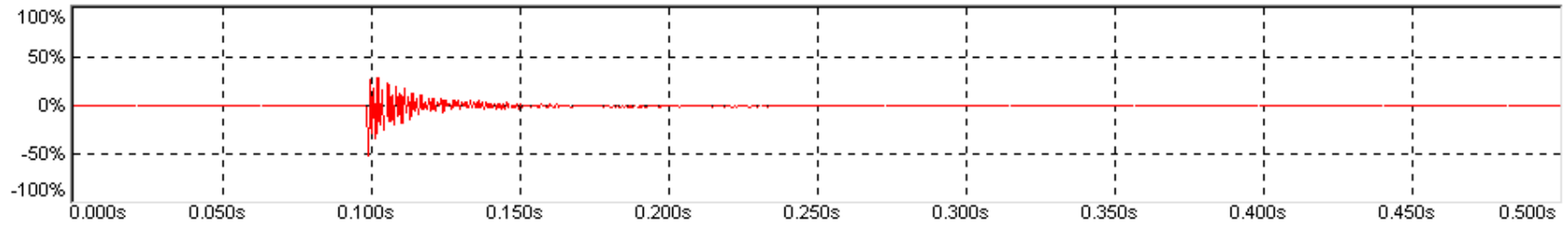
Length of file: 00:01 (Min:Sec)

Channel	Min	@ sec.	Max	@ sec.	Avg	Rms
1	-52.60%	0.099	30.21%	0.103	0.19%	3.12%

Play

Stop

Copy results



Filename: c:\Eigene Dateien\Lautsprecher\GehäuseMaterial\MDF16KIDickSpan4_4.wav

Filelength: 0.021 MB

Nr of channels: 1 (Mono)

Sample frequ.: 22050 Hz

Resolution: 16 bit

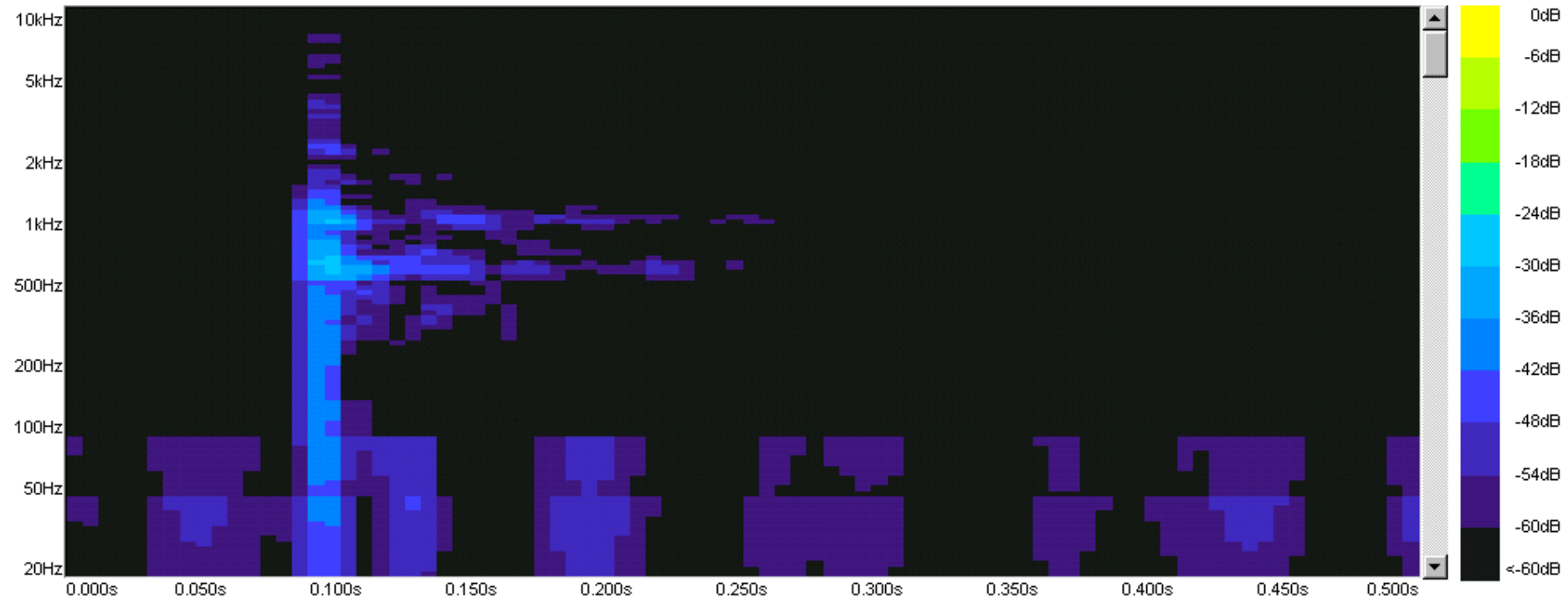
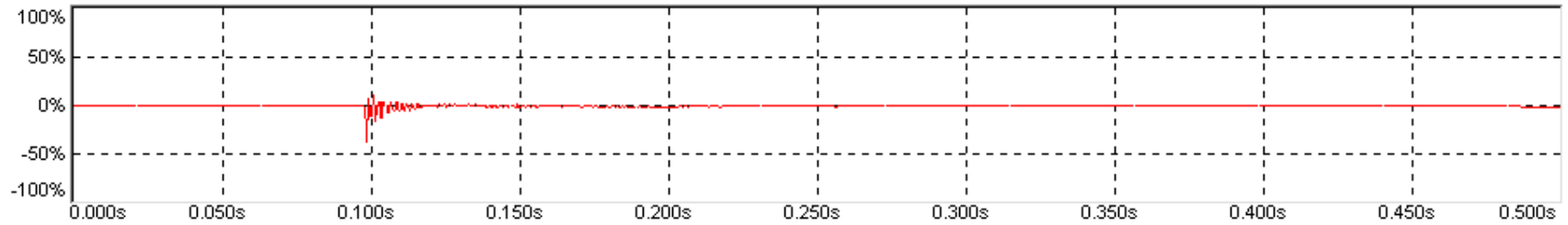
Length of file: 00:01 (Min:Sec)

Channel	Min	@ sec.	Max	@ sec.	Avg	Rms
1	-37.31%	0.099	13.34%	0.101	-0.32%	1.48%

Play

Stop

Copy results



Filename: c:\Eigene Dateien\Lautsprecher\GehäuseMaterial\MDF16Bitum_1.wav

Filelength: 0.021 MB

Nr of channels: 1 (Mono)

Sample frequ.: 22050 Hz

Resolution: 16 bit

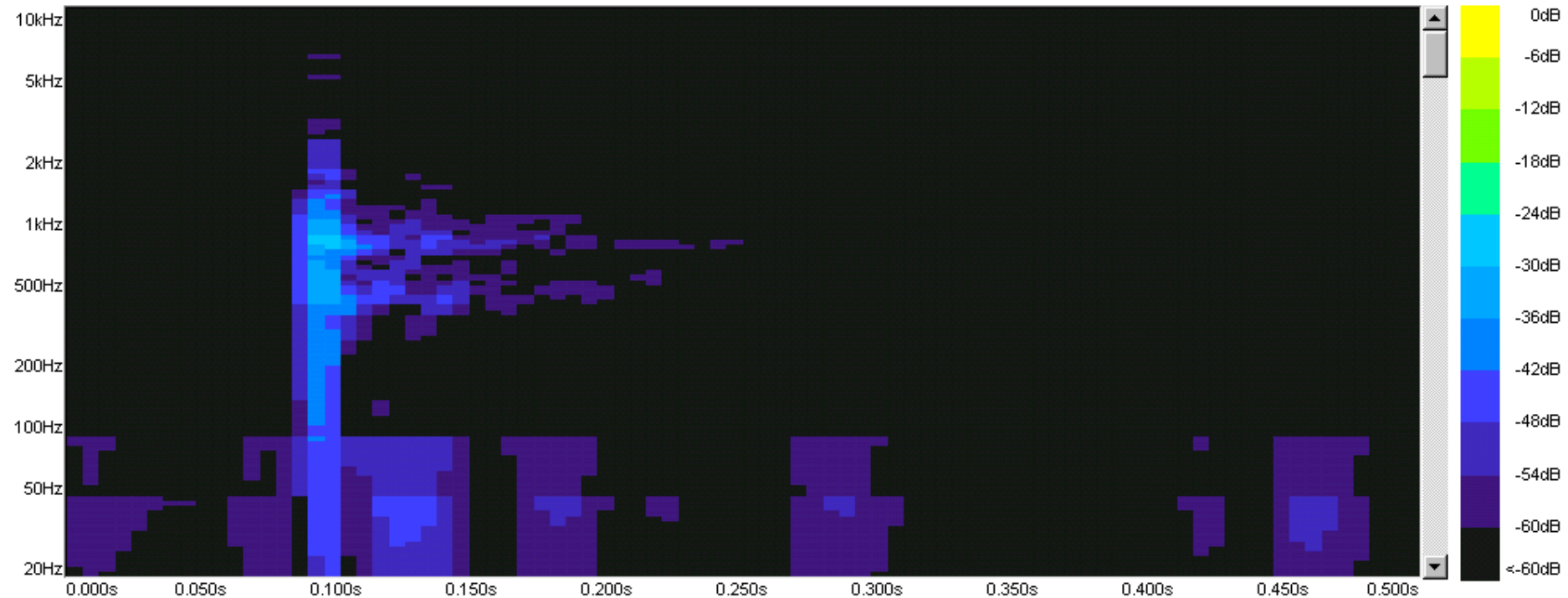
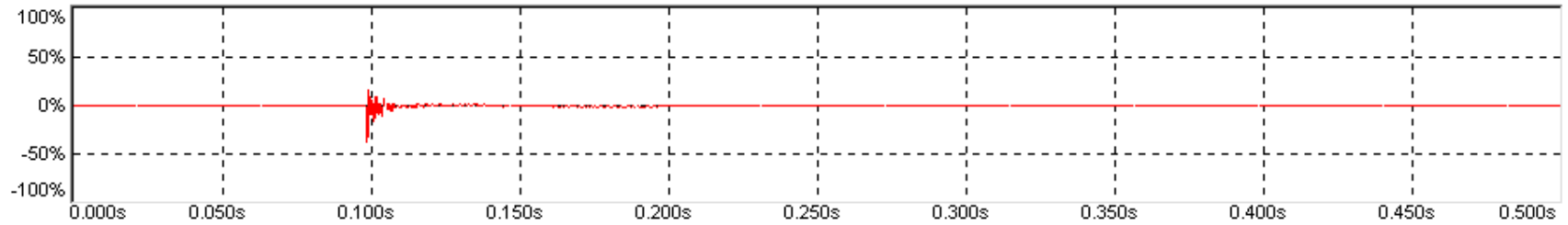
Length of file: 00:01 (Min:Sec)

Channel	Min	@ sec.	Max	@ sec.	Avg	Rms
1	-36.64%	0.099	17.52%	0.100	0.17%	1.47%

Play

Stop

Copy results



Filename: c:\Eigene Dateien\Lautsprecher\GehäuseMaterial\MDF16Fliese_3.wav

Filelength: 0.021 MB

Nr of channels: 1 (Mono)

Sample frequ.: 22050 Hz

Resolution: 16 bit

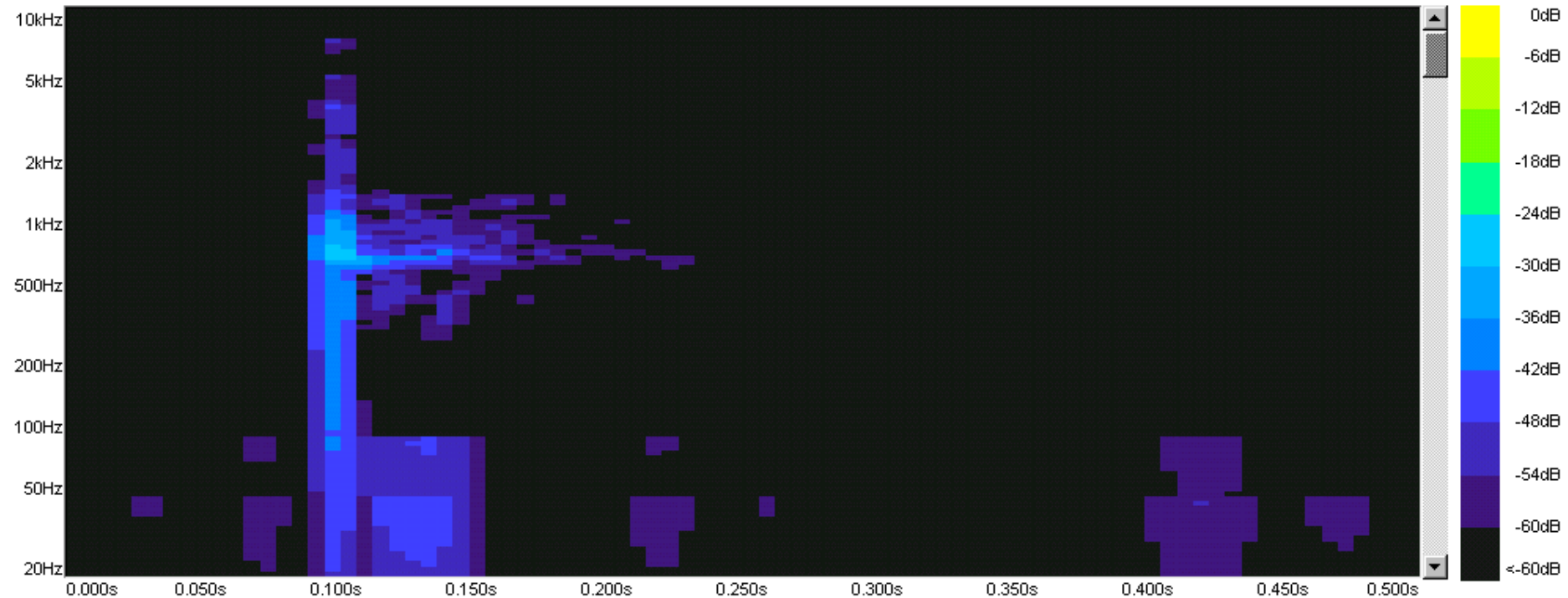
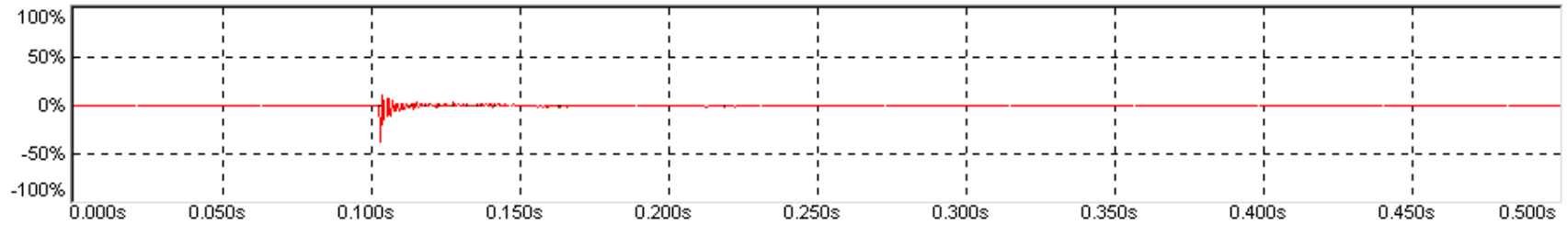
Length of file: 00:01 (Min:Sec)

Channel	Min	@ sec.	Max	@ sec.	Avg	Rms
1	-36.94%	0.104	12.24%	0.104	0.13%	1.30%

Play

Stop

Copy results



Filename: c:\Eigene Dateien\Lautsprecher\GehäuseMaterial\MDF16WFP10_1.wav

Filelength: 0.021 MB

Nr of channels: 1 (Mono)

Sample frequ.: 22050 Hz

Resolution: 16 bit

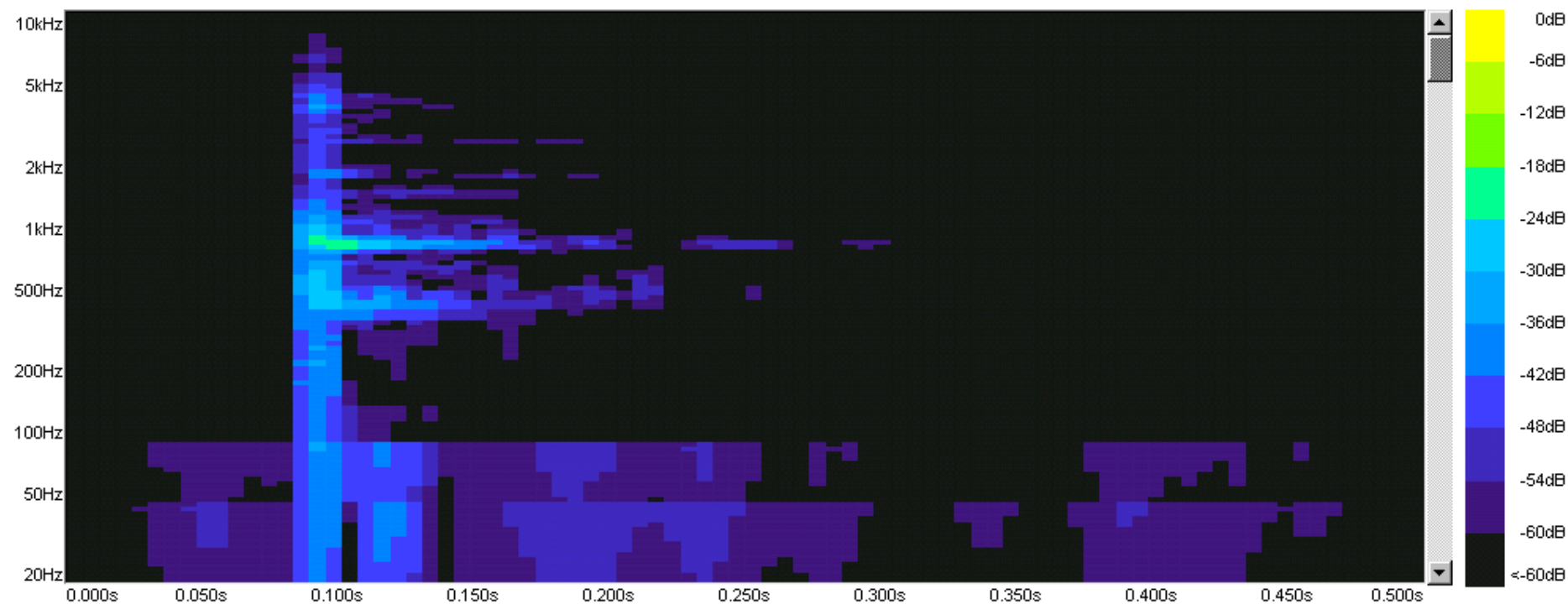
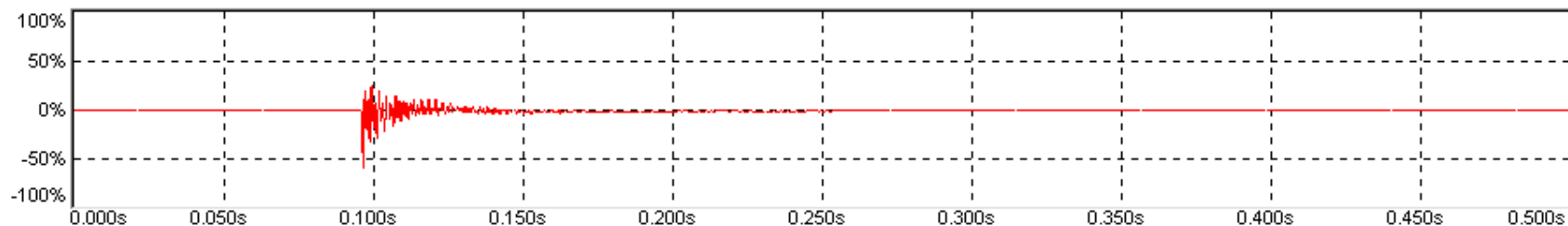
Length of file: 00:01 (Min:Sec)

Channel	Min	@ sec.	Max	@ sec.	Avg	Rms
1	-59.57%	0.097	27.19%	0.100	-0.35%	2.82%

Play

Stop

Copy results



Filename: c:\Eigene Dateien\Lautsprecher\GehäuseMaterial\MDF16Bit4Span4_2.wav

Filelength: 0.021 MB

Nr of channels: 1 (Mono)

Sample frequ.: 22050 Hz

Resolution: 16 bit

Length of file: 00:01 (Min:Sec)

Channel	Min	@ sec.	Max	@ sec.	Avg	Rms
1	-32.39%	0.103	11.41%	0.103	-0.30%	1.26%

Play

Stop

Copy results

