

Messung Schallabstrahlung B70 Betonschwellen

Testgleis 6m bei Schrey & Veit
Bericht



17.110.00 – BAFU Innovative Betonschwelle

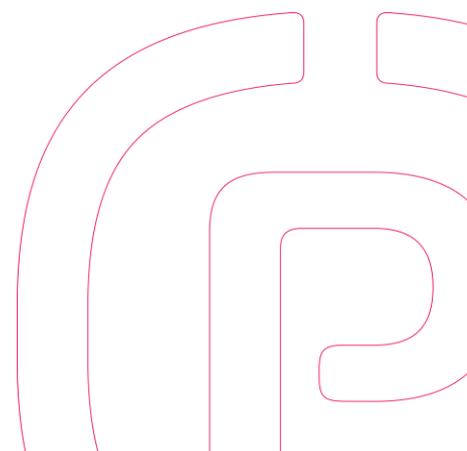
Erstellt	Geprüft	Freigegeben		
C. Czolbe	H. Graf	G. Voelkening		
Dokumentnummer	Ausgabedatum	Revision	Revisionsdatum	Status
04-03-01959	03.12.2018	0.00	03.12.2018	Released

PROSE AG

Zürcherstrasse 41
8400 Winterthur
Schweiz

www.prose.one

Tel +41 52 262 74 00
Fax +41 52 262 74 01
info.winterthur@prose.one



Verteiler

Firma/Abteilung/Name	Bemerkungen

Revisionsindex

	Ersteller	Prüfer	Freigebender	Datum
04-03-01959	C. Czolbe	H. Graf	G. Voelkening	03.12.2018
Rev.				

Modifikationen

Revision	Beschreibung

Dieses Dokument gibt Kenntnis von Gegenständen, an denen die PROSE AG, 8400 Winterthur (Schweiz), oder eines ihrer Tochterunternehmen Eigentumsrechte hat. Weder Erhalt noch Besitz dieses Dokuments verleihen oder übertragen das Recht, seinen Inhalt als Ganzes, einen Teil davon, eine darin enthaltene Information, oder irgendwelche Gegenstände oder Vorrichtungen zu kopieren oder bekannt zu machen oder irgendwelche Methoden oder Prozesse anzuwenden, ausser nach schriftlicher Genehmigung durch die PROSE AG, 8400 Winterthur (Schweiz) oder schriftlicher Vereinbarung mit dieser Firma.

Dieses Schreiben wurde maschinell erstellt und ist ohne Unterschrift gültig.

Inhalt

1	Zusammenfassung.....	4
2	Testgleis.....	5
3	Feldgrößen und Transferfunktionen	6
4	Anregung und Beschleunigungsspektren	7
5	Schallintensitätsmessungen	8
5.1	Auswertungen im Frequenzbereich	8
6	Akustische Nahfeldholografie	13
7	Modalanalysen.....	16
A	Schallmessungen	18
A.1	Krafteinleitung	18
A.2	Beschleunigungsspektren	19
A.3	Schallintensitätsmessungen	21
A.4	Nahfeldholografie	23
A.5	Nahfeldmessung über der Schiene links (Shakeranregung)	26
B	Modalanalyse.....	28
B.1	Modalanalyse Setup	28
B.2	Ergebnisse ohne Schiene.....	29
B.3	Messung mit Schiene.....	31
B.3.1	Ergebnisse B70 frei gelagert	33

1 Zusammenfassung

Am 27. und 28. Juni 2018 haben Messungen zum Schwellenschall an einem 6m langen Testgleis bei S&V in Sprendlingen stattgefunden. Dabei wurde die Schiene mittels Shaker mechanisch angeregt und die Schwingungen und Luftschall mittels Intensitätsverfahren und Nahfeldholografie gemessen. Zudem wurde eine experimentelle Modalanalyse der eingebauten Schwelle durchgeführt.

Die Intensitätsmessungen ergeben wenige Hinweise auf das Vorhandensein des Schwellenschalls, es sind zu viele Teilflächen mit negativer Intensität, sodass eine Interpretation bzw. eindeutige Zuordnung schwierig werden. Der Schienenschall ist jedoch eher in den Intensitätsspektren erkennbar und liegt zwischen 315 und 2000 Hz.

Die Resultate aus der Nahfeldholografie sind ebenfalls nicht eindeutig und sehr schwierig zu interpretieren, vermutlich gibt es keine sinnvollen Ergebnisse bei Anregung an der Schiene, da die Schallabstrahlung der Schiene zu stark stört.

Modalanalyse: Wesentlicher Einfluss der Kopplung mit der Schiene auf die Eigenfrequenzen. Ohne Kopplung an die Schiene ergeben sich ähnliche Eigenfrequenzen und -formen wie mit voll elastischer Lagerung. Der Einfluss der Dämpfung durch den Schotter und Schiene ist allerdings erkennbar, so sind bei den ersten Eigenmoden die Dämpfungen im eingebauten Zustand um Faktor 5-10 höher. Nach Kenntnis des relevanten Frequenzbereichs vom Schienenschall dürften ohnehin nur die ersten Eigenmoden der Schwelle bei 130 Hz und 350 Hz für Schallabstrahlung der Schwelle eine Bedeutung haben.

Analog zu dieser Messung an einem Testgleis mit B70 Schwellen wurde im September eine weitere Messung an einem Testgleis mit B91 in Müntschemier durchgeführt. Hier sind die Ergebnisse, was die Luftschallabstrahlung angeht ähnlich. Transferfunktionen von Schienenschwingung zu Schwellenschwingung bzw. Luftschall werden in einem vergleichenden Bericht zusammengefasst.

Schlussfolgerung aus diesen Messungen sind, wenn die Luftschallabstrahlung der Schwelle messtechnisch kaum zu erfassen ist, so ist beim Schienenschall die Anbindung der Schiene im gesamten System von Bedeutung. So haben z.B. weiche und harte Zwischenlagen oder die Klemmkraft einen höheren Einfluss auf den Schienenschall, als die Art der Betonschwelle.

2 Testgleis

S&V hat zur Bewertung ihrer Schienenstegdämpfer SSD ein 6m langes Testgleis eingerichtet, bei dem die Schiene an einem Ende mittels Shaker breitbandig angeregt werden kann. Es sind B70 Betonschwellen im 50cm hohen Schotterbett eingebaut. Das Testgleis wurde für unsere Zwecke mit UIC60 Schienen und harten Zwischenlagen 687a ausgestattet. Harte Zwischenlagen wurden gewählt und extra für den Versuch eingebaut, um möglichst viel Schwingungsamplitude in die Betonschwellen zu leiten.



Abbildung 2-1: Testgleis Schrey und Veith in Sprendlingen mit elektrodynamischen Shaker an der linken Schiene

Ziel der Messungen waren Schallabstrahlung der Betonschwelle bei mechanischer Anregung der Schiene zu messen, Übertragungsfunktionen von Schienenschwingung zu Betonschwelle zu ermitteln und Modalanalysen von einer eingebauten Schwelle mit/ohne Schiene zu bestimmen.

Die Schallabstrahlung der Schwelle sollte über Schallintensitätsmessungen bestimmt werden. Ausserdem wurde ein neues Verfahren, die akustische Nahfeldholographie mittels Mikrofonarray erprobt, was sich jedoch erst unter diesen Umgebungsbedingungen erweisen musste.



Abbildung 2-2: Messungen des Schwellenschalls mittels Mikrofonarray BionicM

3 Feldgrößen und Transferfunktionen

- Eingangskraft
- Beschleunigung
- Schalldruck
- Schallintensität
- Transferfunktion

Unter Abwesenheit des Rades besteht der Schallanteil an diesem Testgleis nur aus Betonschwellen-/Schotterschall und Schienenschall. Der relevante Schwellenschall sollte im Bereich zwischen 125 Hz und 1000 Hz liegen und soweit nicht vom Schienenschall überlagert auch messbar sein. Für das Rollgeräusch relevanter Schienenschall liegt laut TWINS Simulation im Bereich 315 Hz und 2000 Hz.

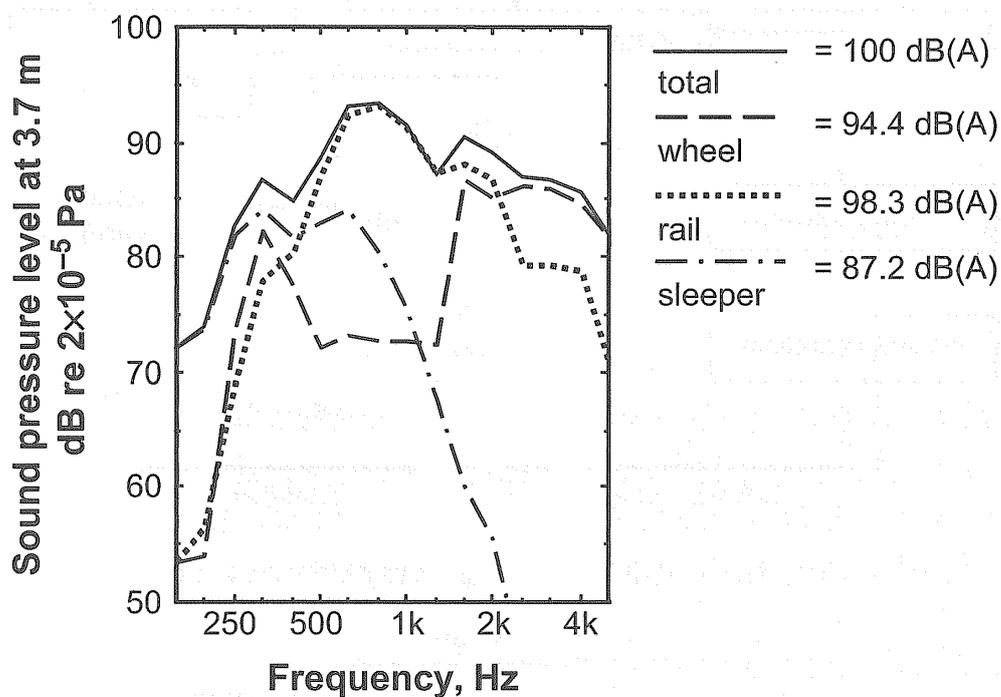


Abbildung 3-1: Thompson Rollgeräuschanteile Standardoberbau aus TWINS Berechnung

4 Anregung und Beschleunigungsspektren

Die Kraftanregung wurde direkt am Einleitungspunkt gemessen und erfolgte einmal durch ein Tiefrosa Rauschen, welches auf den Frequenzbereich 50 Hz bis 1000 Hz ausgelegt war und ein Weisses Rauschen, was Bandpassgefiltert zwischen 100 Hz und 2000 Hz war. Der Schienenkopf wurde in 45° von seitlich von oben angeregt, d.h. mit einer y- und einer z-Komponente der Krafrichtung.

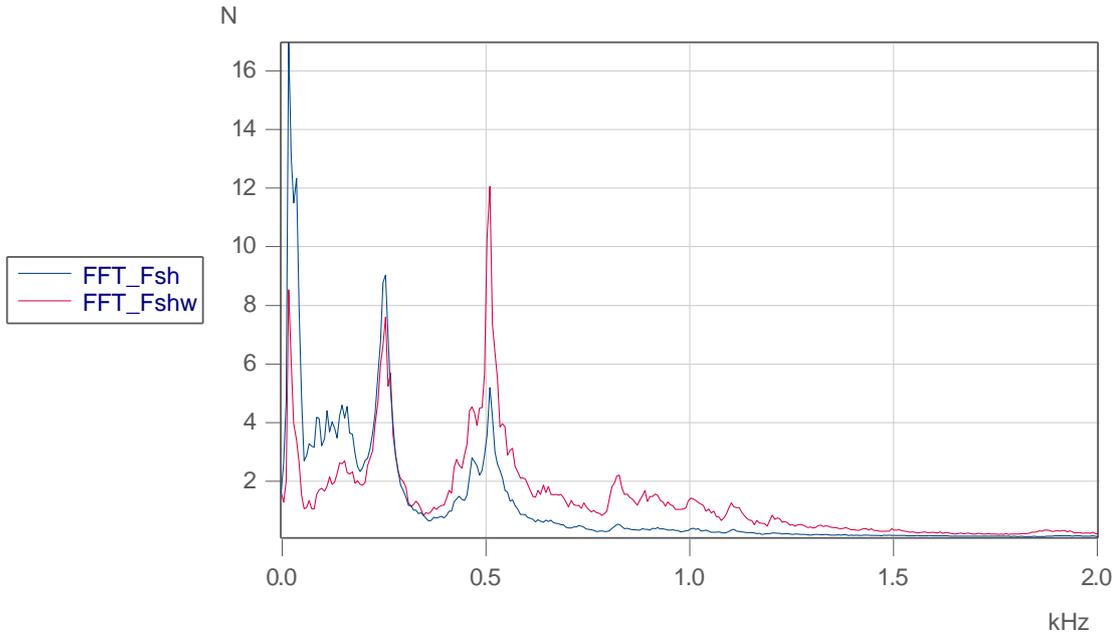
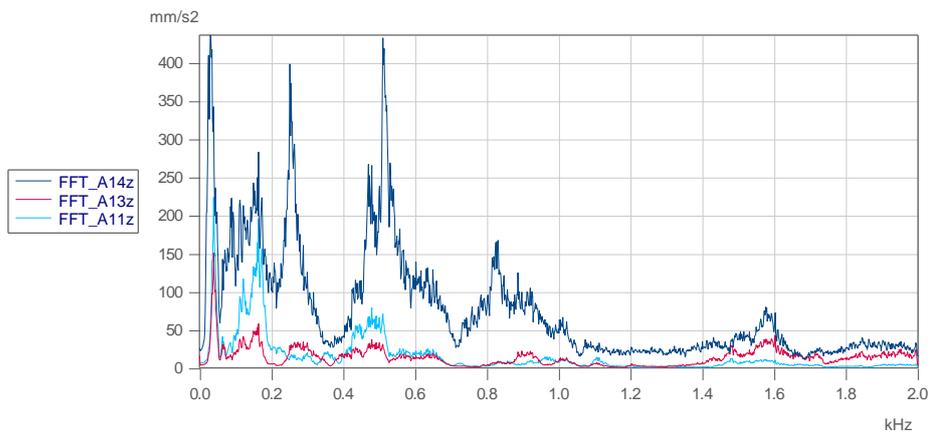


Abbildung 4-1: Kraftanregungsspektrum Tiefrosa (rot) und Weisses Rauschen (blau)

Die Spitzen im Kraftspektrum ergeben sich durch die unterschiedlichen Eingangsmobilitäten am Schienende – siehe Anhang A.1

In den Beschleunigungsspektren in Anhang A.2 sind vor allem in der z-Richtung Schwingungen in der Schwelle wiederzufinden. In y-Richtung fallen die Schwingungen in der Schwelle deutlich geringer aus und haben für die Luftschallabstrahlung keine Bedeutung mehr.



5 Schallintensitätsmessungen

Mittels Schallintensitätsmessungen wurde die Schwelle über punktförmige Messungen abgetastet.

Messung in z-Richtung an der Schwellenoberseite Nr.6 in 25cm Abstand

Messung in +/-x Richtung an den Schwellenflanken Nr.6 in 25cm Abstand

Messungen in z-Richtung im benachbarten Schotterbett von Schwelle Nr. 6

Messungen vom Schienenschall in +/-y Richtung und in z-Richtung



Abbildung 5-1: Betonschwellen B70 im S&V Testgleis

5.1 Auswertungen im Frequenzbereich

Die Schallintensität I ist ein Skalarprodukt aus Schalldruck p und gerichteter Schallschnelle v . Bei der Intensitätsmessung mittels Zweimikrofonmethode wird Schallschnelle über die Phasenlage und den konstanten Mikrofonabstand ermittelt und mit dem Schalldruck multipliziert. Positive Intensitäten stammen dann vom gemessenen Bauteil und negative Intensitäten aus der Umgebung. Der Auswertefrequenzbereich wird dabei durch das gewählte Distanzstück bestimmt.

50mm Distanzstück: 50 Hz bis 1250 Hz

12mm Distanzstück: 125 Hz bis 10000 Hz

Intensitäten in Terzbändern die ausserhalb dieser Bereich liegen, können nicht mehr sicher bestimmt werden und sollten daher mit angemessener Vorsicht betrachtet werden. Der jeweilige Summenpegel wurde entsprechend nur über den Auswertefrequenzbereich gebildet.

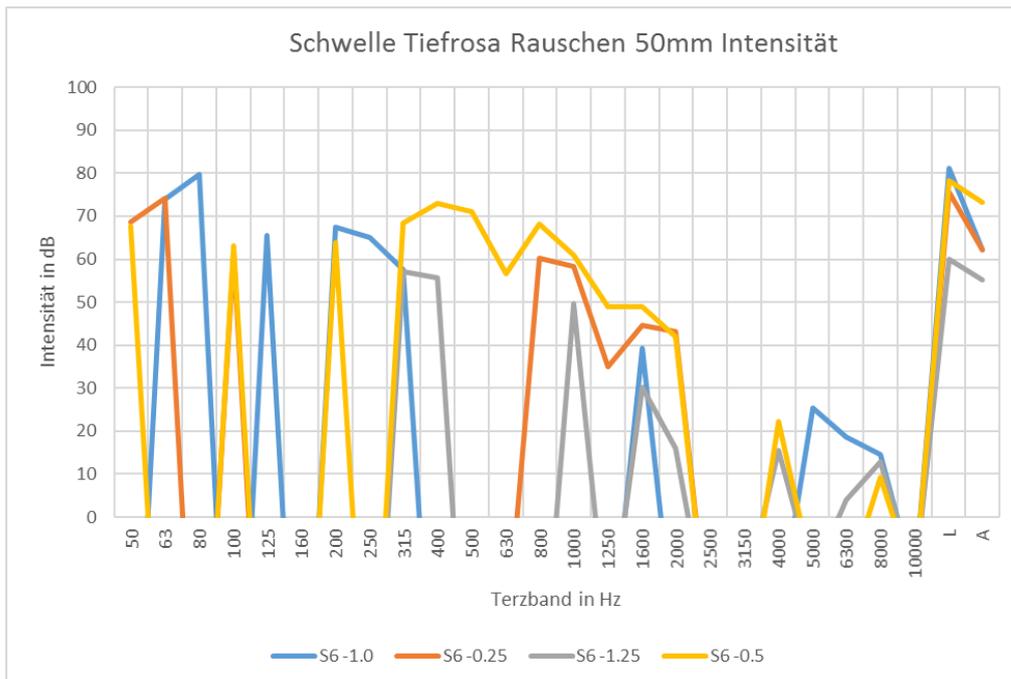


Abbildung 5-2: Schallintensität B70 Betonschwelle an vier Messpunkten Summenpegel-Frequenzbereich 50 Hz bis 1250 Hz

In den gemessenen Intensitäten zwischen 100 und 250 Hz sind ein paar Terzbänder enthalten, welche wahrscheinlich von der Schwelle stammen. Bei 125 Hz und bei 200 Hz liegen Modale Eigenformen der Schwelle, so wird sie in diesen Bereichen auch Luftschall abstrahlen.

Die Kontur der S6 -0.5 und zwischen 315 Hz und 1250 Hz wird auch durch Schienenschallreflexionen beeinflusst und kann daher nicht eindeutig der Schwelle zugeordnet werden. Zum Vergleich ist nachfolgend einmal der Schienenschall abgebildet, welcher unmittelbar seitlich und über der Schiene gemessen wurde (bei unterschiedlicher Rauschanregung).

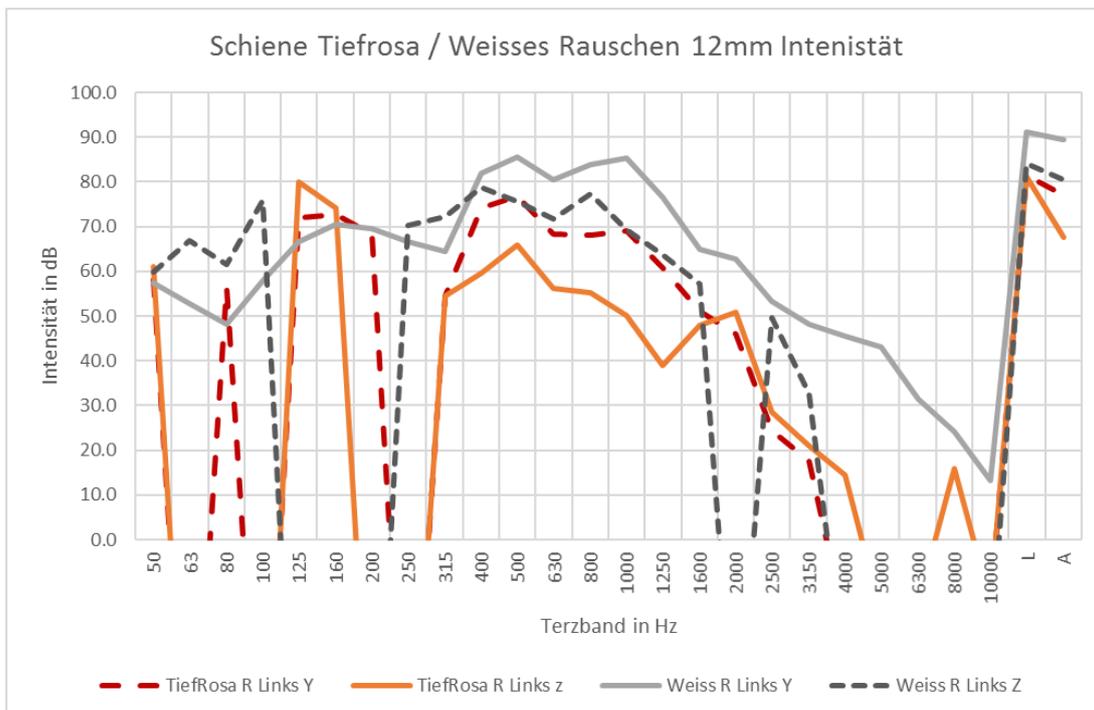
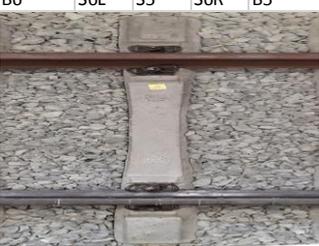


Abbildung 5-3: Schallintensität der Schiene bei Tiefrosa Rauschen 12mm Intensität Auswertebereich 125 Hz bis 10000 Hz

Nachfolgend sind die einzelnen Intensitätsmessungen den Messpositionen zugeordnet und über jedes Terzband abgetragen.

Position [m]	B6	S6L	S6	S6SR	B5
-1.25					
-1.00					
-0.50					
-0.25					
0.00					
0.25					
0.50					
1.00					
1.25					



Position [m]	B6	S6L	S6	S6SR	B5
-1.25	71.3	-76.6	-67.9	76.7	-69.7
-1.00	51.8	69.0	65.5	77.4	-72.9
-0.50	-77.8	76.9	-75.1	-68.1	-77.9
-0.25	-80.5	77.7	-67.1	-80.5	-67.4
0.00	74.0	81.5	-72.8	-80.9	75.5
0.25	-74.1	82.3	62.5	-81.8	78.4
0.50	76.4	83.1	-66.9	-76.9	82.3
1.00	75.5	80.7	71.7	75.5	83.5
1.25	75.0	80.2	78.3	-81.0	82.7

Position [m]	B6	S6L	S6	S6SR	B5
-1.25	-65.2	65.1	55.8	-69.8	-64.2
-1.00	-68.6	66.9	-64.7	-71.8	-67.9
-0.50	-61.8	68.2	69.5	-62.8	-71.0
-0.25	-66.8	72.1	73.1	-74.5	-68.2
0.00	-66.6	72.2	-68.4	-73.2	-65.3
0.25	-71.6	71.5	-65.9	-74.0	-62.0
0.50	-71.3	69.5	-66.0	-72.9	-70.8
1.00	-71.2	69.8	-68.9	-71.1	-73.7
1.25	-64.8	59.1	68.2	-63.3	-62.7

Position [m]	B6	S6L	S6	S6SR	B5
-1.25	-78.8	-73.2	-76.1	-70.0	56.6
-1.00	-74.4	59.3	-74.6	-69.0	-63.0
-0.50	-70.5	68.1	-69.2	-72.0	-65.3
-0.25	-69.1	69.1	67.7	-72.0	-64.4
0.00	65.3	72.1	68.6	-73.5	-63.0
0.25	65.8	70.6	69.6	-74.5	60.2
0.50	71.1	71.9	69.9	75.5	63.8
1.00	70.0	69.6	64.9	-79.3	-69.4
1.25	68.9	72.1	71.2	-78.2	-70.7

Position [m]	B6	S6L	S6	S6SR	B5
-1.25	-74.7	-75.9	-76.4	76.8	-75.0
-1.00	66.5	71.2	-73.6	75.0	-69.1
-0.50	-80.3	-66.7	-71.3	-76.4	-67.5
-0.25	-78.6	72.8	-72.3	-76.2	65.4
0.00	-69.9	75.8	-74.8	-72.2	74.2
0.25	77.3	80.7	-69.2	-76.5	81.4
0.50	80.5	83.5	74.1	81.4	85.6
1.00	82.6	82.1	75.4	71.4	87.6
1.25	82.2	84.7	80.6	72.2	86.0

Position [m]	B6	S6L	S6	S6SR	B5
-1.25	-61.3	71.3	-66.5	-76.7	-71.1
-1.00	-70.2	-68.5	-54.9	60.5	66.4
-0.50	73.9	74.8	67.5	-74.4	65.7
-0.25	68.2	76.7	71.0	-77.0	63.0
0.00	-69.0	73.3	-60.6	67.8	-61.6
0.25	-74.1	74.7	-61.1	-75.9	-75.4
0.50	-80.1	67.9	-68.4	-78.4	-79.5
1.00	-78.7	71.4	-63.0	-77.5	-80.2
1.25	-69.6	70.0	66.4	70.9	69.9

Position [m]	B6	S6L	S6	S6SR	B5
-1.25	-72.7	72.2	-66.2	-69.3	-71.4
-1.00	-72.9	-60.9	73.9	-73.4	-68.2
-0.50	-73.5	68.7	69.3	-72.4	-60.8
-0.25	-75.5	67.7	-65.2	-72.6	-62.8
0.00	67.0	72.7	74.2	-75.9	67.4
0.25	-70.7	74.3	69.3	-76.5	72.3
0.50	68.1	70.8	68.6	65.4	73.4
1.00	50.4	73.1	71.0	-67.2	64.2
1.25	68.1	72.5	61.0	-67.5	67.4

Position [m]	B6	S6L	S6	S6SR	B5
-1.25	-70.9	71.9	-68.0	-72.6	-70.7
-1.00	-68.1	70.0	67.5	-68.5	64.3
-0.50	-63.5	75.8	68.2	-76.6	-69.4
-0.25	-60.4	70.2	64.0	-67.6	-62.6
0.00	-68.4	68.1	-63.0	-66.9	-64.7
0.25	-67.6	75.0	-61.7	-74.6	-48.4
0.50	-71.9	78.3	-61.1	-76.3	71.9
1.00	-78.8	77.6	-70.8	-77.8	80.7
1.25	-76.6	80.6	73.6	-79.8	81.4

Position [m]	B6	S6L	S6	S6SR	B5
-1.25	-57.6	55.3	-58.8	-62.5	-57.9
-1.00	58.5	60.6	-58.1	-53.4	54.7
-0.50	-57.3	57.9	60.2	-56.3	-56.8
-0.25	-53.8	58.4	56.7	-58.8	51.3
0.00	-53.6	62.2	-29.7	-64.3	-58.0
0.25	-64.5	62.1	58.1	-64.9	-59.7
0.50	-65.8	62.5	66.9	-66.1	-63.0
1.00	-64.9	60.7	49.3	-64.8	-64.0
1.25	-60.3	59.5	58.5	-62.5	53.0

Position [m]	B6	S6L	S6	S6SR	B5
-1.25	-65.6	70.2	-69.5	-76.1	-76.2
-1.00	71.2	74.4	79.6	-76.2	-71.1
-0.50	-74.3	74.6	78.0	-75.3	-62.3
-0.25	-73.6	69.9	-71.9	-71.7	-66.0
0.00	66.7	72.4	-69.6	-70.0	-64.5
0.25	69.4	71.5	-61.1	-68.4	-56.0
0.50	69.8	72.0	68.6	68.3	-67.1
1.00	64.4	68.2	64.1	-68.9	-68.6
1.25	67.5	65.0	69.1	-68.3	-68.3

Position [m]	B6	S6L	S6	S6SR	B5
-1.25	-73.8	74.7	-67.5	-77.8	64.7
-1.00	-69.7	66.5	65.0	-74.5	-72.5
-0.50	70.5	68.2	63.0	-74.0	-75.2
-0.25	-62.4	-66.2	-62.0	-74.7	-73.4
0.00	-63.5	69.8	-69.7	-76.5	-72.4
0.25	53.6	71.3	-68.4	-75.8	-69.5
0.50	-65.7	68.9	-65.7	-61.2	-69.4
1.00	-73.7	-69.9	-67.1	-66.9	-65.3
1.25	-62.5	-64.7	-70.7	-61.7	60.7

Position [m]	B6	S6L	S6	S6SR	B5
-1.25	54.4	51.3	-48.9	-50.5	-52.2
-1.00	-50.7	48.1	-56.4	55.3	-54.4
-0.50	-66.2	64.3	63.2	-66.9	58.6
-0.25	-62.6	61.8	68.1	-70.5	65.0
0.00	-63.5	63.8	60.1	-61.2	61.7
0.25	-62.9	65.3	-54.0	-65.5	-58.2
0.50	-70.7	60.0	64.4	-71.0	-64.5
1.00	-68.5	-60.6	-57.8	-65.5	-64.2
1.25	54.3	-56.8	54.3	-62.5	-55.8

Position [m]	B6	S6L	S6	S6SR	B5
-1.25	-74.2	-73.2	-75.4	-71.5	-70.5
-1.00	-79.0	-72.3	-80.1	69.6	64.7
-0.50	-69.4	-66.8	-79.7	70.8	-67.1
-0.25	-63.2	63.5	63.1	-70.3	-69.4
0.00	63.0	72.7	61.2	-74.1	-66.1
0.25	62.3	75.2	-57.1	-74.9	72.1
0.50	67.5	75.4	70.9	-74.9	74.2
1.00	-70.6	72.4	65.6	77.4	70.9
1.25	-70.2	69.9	-69.8	73.1	-70.2

Position [m]	B6	S6L	S6	S6SR	B5
-1.25	-62.5	62.4	57.0	-66.8	-61.1
-1.00	-53.2	60.2	57.6	-67.9	-64.2
-0.50	66.3	63.8	69.2	-65.8	-65.0
-0.25	-62.6	60.5	68.4	-60.5	65.5
0.00	-66.1	61.7	-54.8	-67.9	56.8
0.25	-63.6	59.1	-62.8	-67.7	-63.4
0.50	-64.1	63.6	-58.9	55.2	-68.5
1.00	-67.7	68.0	60.7	-69.4	-69.5
1.25	66.2	67.7	61.9	-69.8	63.0

Position [m]	B6	S6L	S6	S6SR	B5
-1.25	-42.7	51.7	49.7	-54.2	52.7
-1.00	48.5	-52.6	-42.4	56.6	45.3
-0.50	-51.3	45.4	57.2	-56.0	-60.7
-0.25	-54.8	-56.4	61.1	-62.1	60.7
0.00	-51.1	-52.9	58.4	-58.2	-39.1
0.25	-59.2	60.1	-53.6	-66.0	-61.2
0.50	-62.7	58.8	61.2	-62.6	-66.6
1.00	-61.6	-61.3	-60.7	-65.6	-65.6
1.25	-57.5	-62.0	56.0	-61.4	-50.8

Abbildung 5-4: Schallintensitäten gemessen an der Schwelle S6 und m Schotter B5, B6

Anregung mit unterschiedlichem Rauschen und Messung mit 12mm
Frequenzbereich Intensität 125 bis 5000 Hz

	Tiefrosa	TiefRosa	Tiefrosa	TiefRosa	Weiss									
	S6-100	S-25	S6-125	S-50	S6-100	S-25	S0	S50	S6-125	S6-125	S-50	S25	S100	S6-125
Freq	I [dB]	I [dB]	I [dB]	I [dB]	I [dB]	I [dB]	I [dB]	I [dB]	I [dB]	I [dB]	I [dB]	I [dB]	I [dB]	I [dB]
50	63.9	-69.1	-58.3	-74.1	62.8	-63.1	-62.2	68.1	-57.1	-55.9	-68.1	-70.3	-69.8	-64.7
63	66.6	-70.2	64.3	-77.5	-59.6	-70.0	-70.3	66.7	71.8	45.2	-71.5	-71.5	58.0	62.7
80	73.3	-76.3	68.0	73.9	69.2	-72.5	-53.1	72.1	76.7	58.8	67.7	-67.7	61.1	62.7
100	-77.0	-77.8	-59.1	-67.1	-68.2	-72.9	-72.0	74.9	-71.7	-64.6	-66.1	-73.3	-63.6	-73.8
125	71.1	-90.2	-69.3	-83.8	78.1	-87.2	-77.0	84.9	87.2	-74.1	-81.4	-79.9	-74.8	-77.0
160	62.0	-84.8	-72.3	-78.3	71.5	-82.6	77.3	77.9	82.7	-74.7	-77.3	-73.8	77.8	-77.1
200	-58.0	-65.7	-59.0	72.7	61.3	-62.2	-67.0	78.2	78.5	63.3	72.7	63.6	71.9	-69.0
250	-64.2	-67.8	-58.3	68.3	-67.9	-72.3	-71.7	64.1	72.1	69.3	69.2	-72.9	-71.3	-73.5
315	-52.3	60.4	-48.1	66.5	-58.1	65.9	-61.8	64.0	51.9	49.9	72.0	-63.7	63.5	65.3
400	-60.5	-71.0	56.1	75.3	-67.4	-78.9	-75.7	78.1	-67.3	64.9	82.7	-75.3	-60.0	74.9
500	-55.2	-68.4	-56.3	67.6	-66.0	-76.5	-80.6	76.3	79.4	-63.7	77.2	75.1	76.1	-75.0
630	-53.0	-54.5	-52.8	-55.6	-65.5	-67.1	78.9	70.2	-69.9	-64.0	-69.3	-68.6	73.7	-70.7
800	-51.1	59.3	-45.0	67.4	-66.9	75.1	79.4	67.5	-74.9	-60.1	83.6	-73.9	-76.3	-69.7
1000	-39.7	60.0	42.0	54.6	-55.8	76.4	77.0	69.9	80.8	58.6	70.8	-69.1	-72.8	62.9
1250	-34.4	46.6	-33.4	48.2	-48.0	62.8	65.2	66.5	75.4	-48.3	63.1	-61.6	65.3	-55.6
1600	30.8	45.2	-27.2	46.3	46.0	60.4	60.8	64.7	62.7	-39.5	60.6	-61.7	50.2	-46.2
2000	-32.6	46.5	11.5	44.1	-49.9	61.9	63.8	65.9	70.6	43.9	55.5	59.2	-59.6	50.1
2500	-29.3	-33.6	14.1	-24.9	-37.0	43.9	45.9	54.7	54.9	34.5	-49.8	-40.5	-48.2	-34.5
3150	-26.8	-33.7	-22.5	25.4	-27.6	-32.6	-32.5	42.5	39.3	27.3	36.8	32.5	32.9	-35.7
4000	-27.0	-30.8	-21.9	27.1	-29.4	-32.4	-35.5	42.4	34.8	-15.8	34.5	-30.4	21.5	-33.6
5000	-25.7	-28.8	-14.8	-20.4	-27.2	-31.2	-29.5	42.1	33.8	14.1	23.4	-30.3	27.6	26.7
6300	-20.3	-24.6	-12.2	17.1	-20.9	-25.4	-25.3	25.3	21.5	-10.4	24.4	-23.1	-24.9	-23.5
8000	8.5	-18.9	-14.3	-19.1	10.2	-13.4	-17.6	17.5	18.3	-13.9	-16.4	-21.9	-22.7	-20.8
10000	-15.6	-21.1	-14.8	-20.0	-15.7	-20.7	-21.1	22.3	-19.8	-14.1	-20.0	-21.7	-22.0	-21.4
L	71.6	64.8	56.3	78.8	79.1	79.3	84.4	87.9	90.2	71.6	87.2	75.5	81.6	75.6
A	-61.3	-76.8	-61.3	71.1	-69.7	63.6	80.5	74.6	83.3	-64.1	84.6	-75.8	-72.0	-74.1

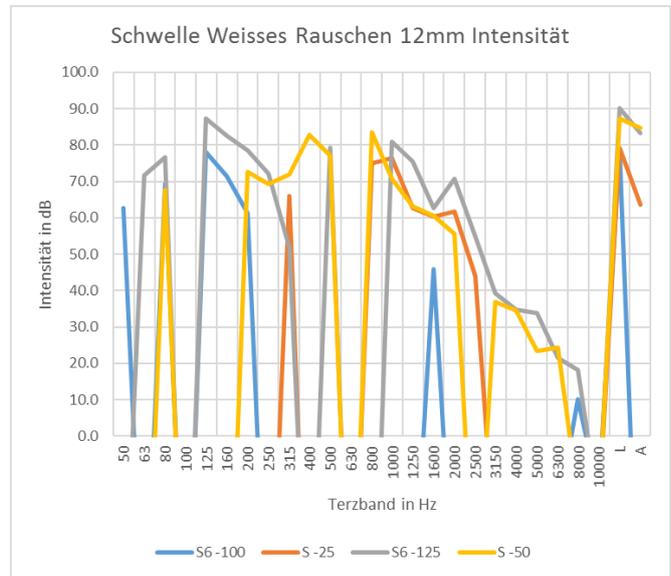
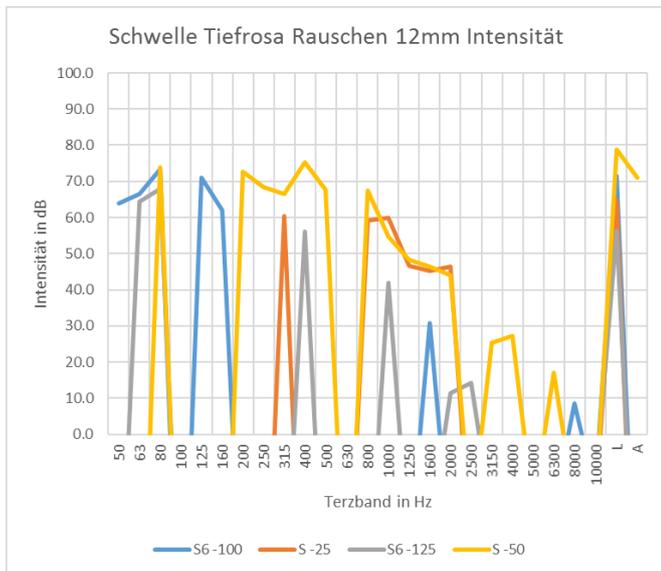
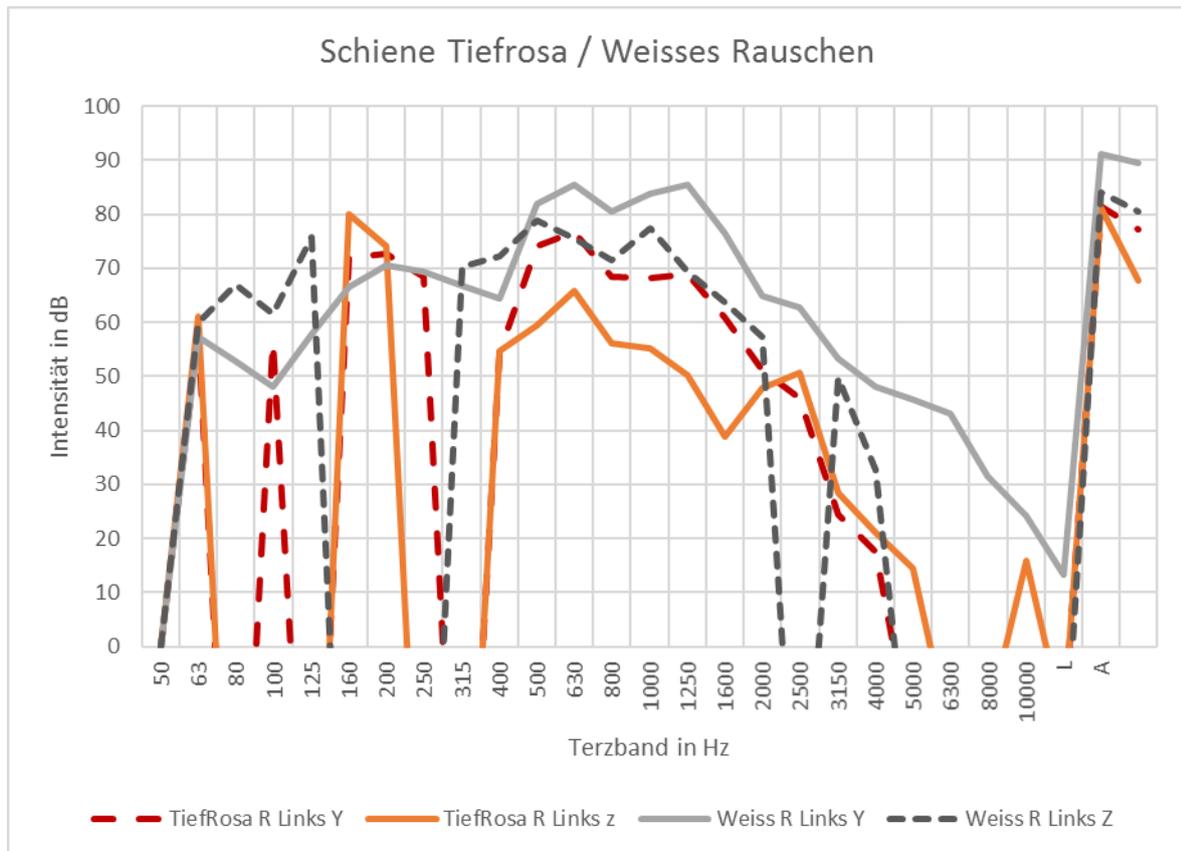


Abbildung 5-5: Schallintensität der Schwelle bei unterschiedlicher Anregung mit 12mm Distanzstück gemessen: 125 Hz bis 10000 Hz

Messung der Schiene

	Tiefrosa	TiefRosa	Tiefrosa	TiefRosa	Weiss	Weiss	Weiss	Weiss	Weiss	Weiss	Weiss	Weiss	Weiss
	R Rechts Y	R Links Y	R Rechts z	R Links z	R Rechts Y	R Links Y	R Links Y	R Links Z	R Rechts z	R Links z	R Rechts y	R Rechts Z	bg
Freq	I [dB]	I [dB]	I [dB]	I [dB]	I [dB]	I [dB]	I [dB]	I [dB]	I [dB]	I [dB]	I [dB]	I [dB]	I [dB]
50	64.1	58.1	-62.5	61.0	56.5	57.3	57.2	60.0	-57.4	52.6	61.7	68.7	68.7
63	66.5	-69.7	-75.9	-68.4	58.4	52.7	64.8	67.0	-68.3	-62.2	68.7	-73.7	-73.7
80	64.4	56.4	-70.9	-63.3	57.6	48.1	67.4	61.6	-65.0	-63.7	66.6	-66.9	-66.9
100	-66.1	-66.9	63.2	-73.9	-61.6	57.9	69.1	75.9	63.4	-70.3	73.4	-75.5	-75.5
125	-74.1	71.9	-78.9	80.0	-70.8	66.5	-74.7	-75.8	-76.4	77.7	77.9	86.8	86.8
160	69.9	72.6	-70.7	74.1	66.8	70.5	74.6	-69.0	-68.5	72.5	70.3	78.4	78.4
200	-67.1	68.4	61.3	-58.7	-67.9	69.5	-72.3	-74.5	62.4	-60.8	73.9	71.7	71.7
250	-54.2	-67.3	64.0	-66.2	52.4	66.7	-70.4	70.2	66.0	-68.8	70.8	-67.1	-67.1
315	57.6	54.4	60.6	54.6	59.3	64.4	-69.4	72.2	63.2	59.7	78.1	-65.1	-65.1
400	63.6	74.2	65.0	59.5	71.1	81.9	74.3	78.9	72.7	67.1	89.1	74.6	74.6
500	63.6	76.8	64.3	65.9	72.1	85.5	80.4	75.5	73.6	74.6	93.0	75.8	75.8
630	52.9	68.3	54.9	56.2	66.2	80.4	72.1	71.6	67.2	67.8	88.5	63.9	63.9
800	53.7	68.2	53.7	55.2	69.1	83.8	-77.1	77.4	69.8	70.7	92.9	76.3	76.3
1000	50.6	69.0	50.0	50.2	66.9	85.4	69.4	69.3	66.2	66.5	90.5	68.3	68.3
1250	-29.2	60.8	41.6	39.0	-42.1	76.5	-44.9	63.8	57.6	54.7	84.1	61.3	61.3
1600	27.5	51.2	38.0	47.9	44.5	64.8	-47.9	57.2	52.4	61.5	71.3	67.3	67.3
2000	21.9	46.1	-33.9	50.8	28.9	62.7	-48.2	-48.1	-46.5	65.0	72.8	69.1	69.1
2500	-18.3	24.3	-27.0	28.6	-31.4	53.2	35.8	49.7	40.5	48.6	60.8	57.0	57.0
3150	13.3	17.5	-26.2	21.0	18.0	48.2	34.6	32.8	25.5	33.6	40.0	39.0	39.0
4000	-16.6	-18.8	-23.5	14.5	-20.3	45.6	-27.1	-31.1	-20.3	27.6	36.7	32.4	32.4
5000	-18.6	-17.8	-21.3	-16.6	-18.7	43.0	-17.1	-30.3	-21.7	20.0	29.9	-10.8	-10.8
6300	-13.6	-14.1	-15.8	-13.9	-8.4	31.5	-23.6	-26.9	-11.0	15.0	33.0	-20.1	-20.1
8000	-14.5	-14.0	14.5	15.8	-14.6	24.2	-24.6	-25.8	18.3	19.5	22.3	-18.1	-18.1
10000	-15.2	-14.6	-14.9	-14.0	-15.1	13.3	-26.3	-26.2	-14.6	-13.7	24.3	-25.3	-25.3
L	71.9	81.4	71.3	81.2	77.2	91.1	82.9	84.1	78.5	81.4	98.5	88.4	88.4
A	62.5	77.1	60.0	67.6	74.2	89.6	75.2	80.5	75.2	76.1	96.8	80.2	80.2

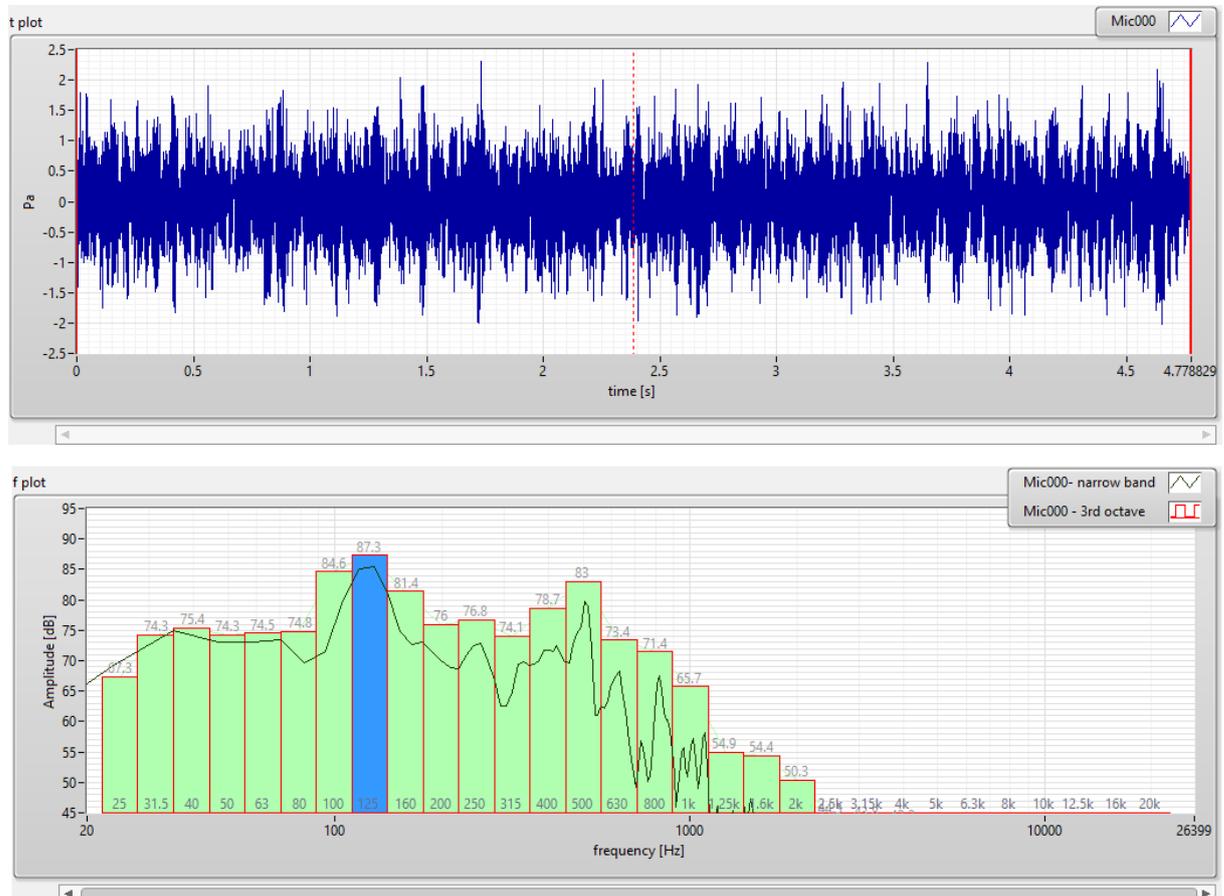


6 Akustische Nahfeldholografie

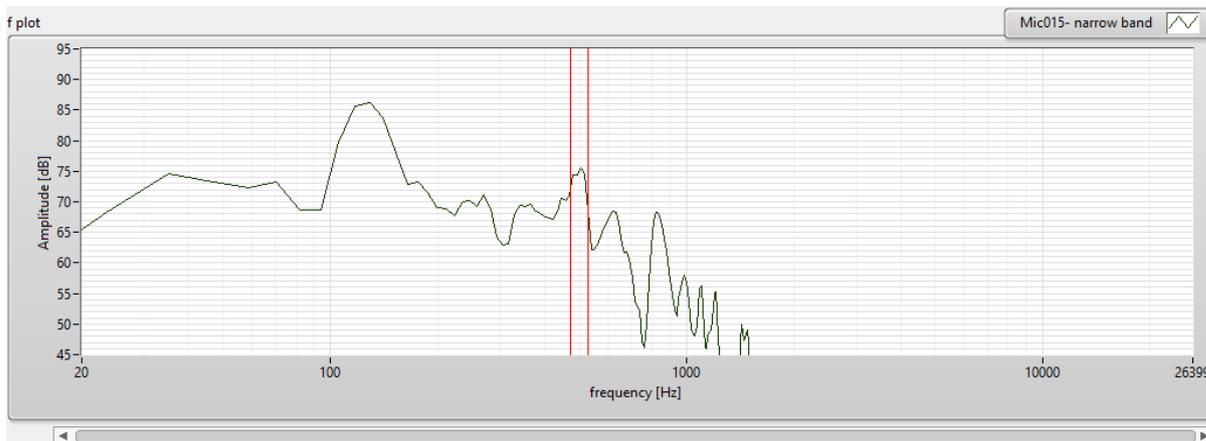
Für die Nahfeldholografie wird ein Mikrofonarray BionicM von CAE verwendet, bei dem 112 Mikrofone in gleichmässig verteilt in einem Durchmesser von 1m angeordnet sind. Mit diesem Verfahren kann man sehr nah an das schallabstrahlende Objekt heran und theoretisch die Schallschnellen im Frequenzbereich 50 Hz bis 10000 Hz darstellen. Im besten Fall sind dann Bereiche zu erkennen, wo eine Schallabstrahlung vom Objekt ausgeht.

Mit dem BionicM Array von 1m Durchmesser muss man die Betoschwelle mit 2.5m Länge durch drei überlagerte Messpositionen nacheinander messen. Wir haben jeweils die Mitte der Schwelle gewählt und dann die beiden Enden inklusive der Schienen.

Sinnvoll erscheint die Auswertung der Mittelposition der Schwelle, da hier der Einfluss des Schienenschalls geringer ist als an den Enden. In einer Terzanalyse des Arraysignals erkennt man zunächst, dass der vermeintliche Schwellenschall überwiegend in einem Frequenzbereich zwischen 100 und 500 Hz liegen muss.



Die Auswertung wurde einmal terzweise und einmal Bandpassweise in den sechs interessanten Bandbereichen durchgeführt.



Da die Kamera vom Array einen begrenzten Weitwinkel hat, wird bei der Messung in wenigen cm über der Schwelle nur ein kleines Bild aufgenommen.

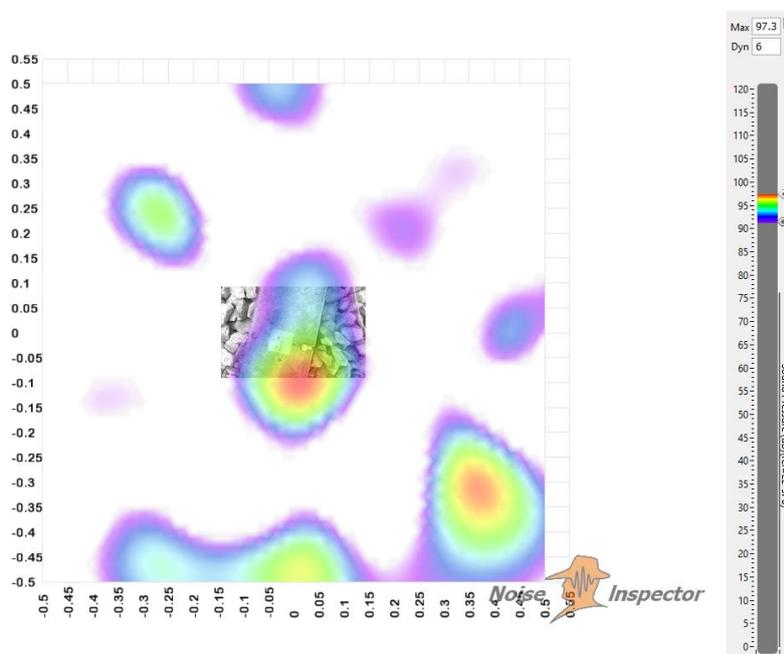


Abbildung 6-1: Nahfeldmessung Mitte Betonschwelle zwischen 105 und 140 Hz

Zur Veranschaulichung der Lage muss ein grosses Bild entsprechend skaliert hinterlegt werden.

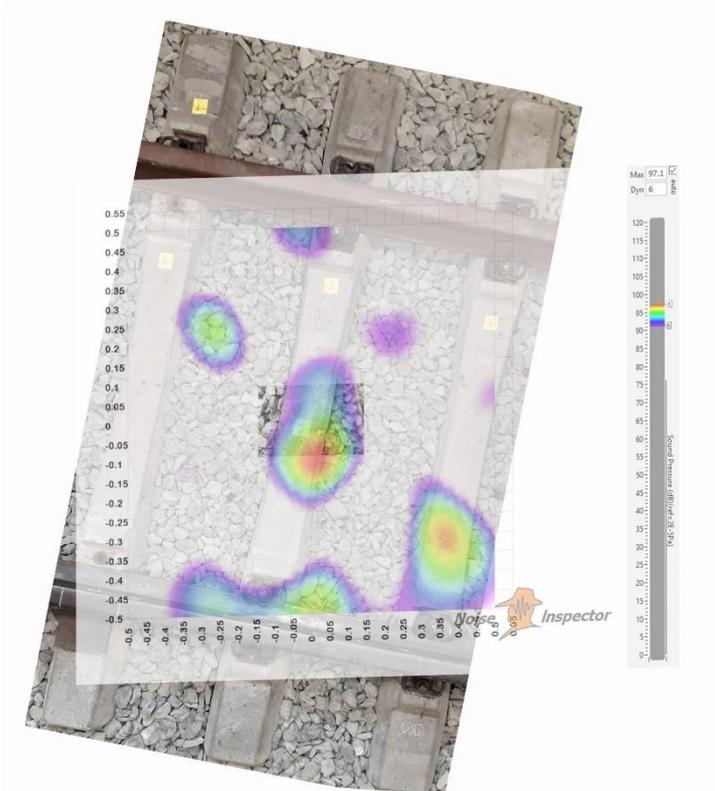


Abbildung 6-2: Nahfeldmessung Betonschwelle zwischen 105 und 140 Hz mit Lagebild

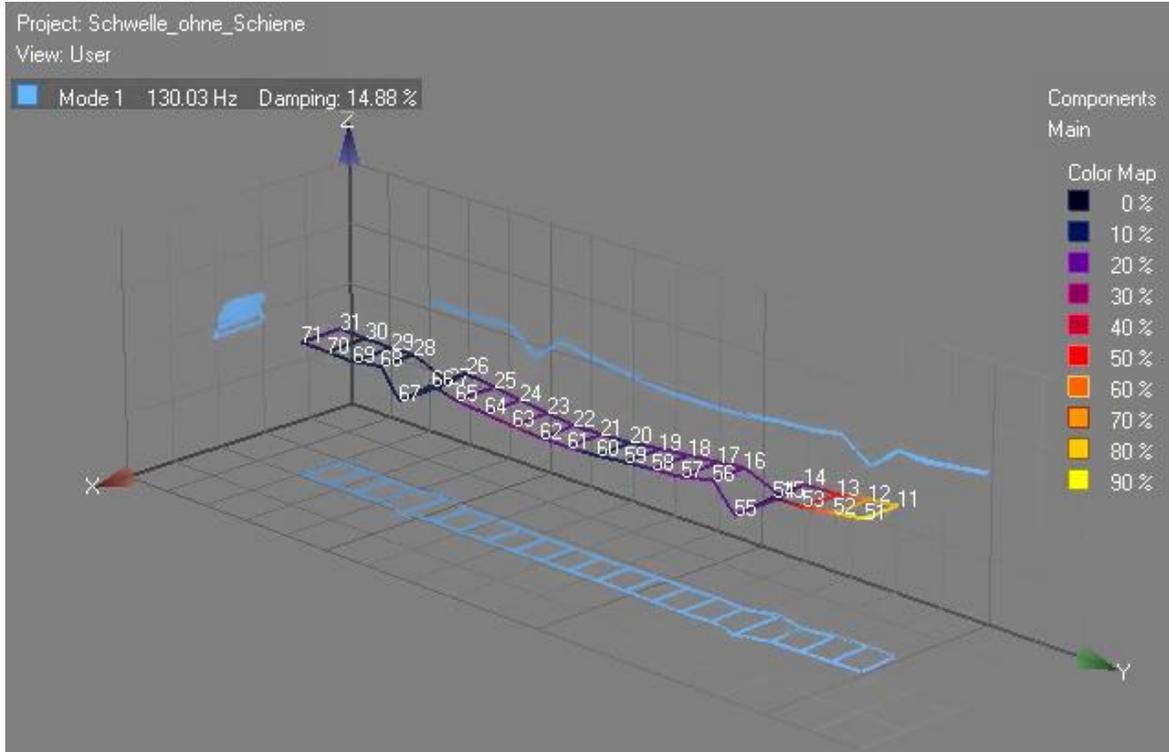
Auf dem Bild ist zu erkennen, dass im Bereich Schwellenmitte offenbar eine Schallabstrahlung bei ca. 130 Hz stattfindet. Es sind jedoch auch Schallquellen an anderen Orten sichtbar, etwa im Bereich der Schiene.

Mit zunehmender Frequenz erscheinen auch Spiegelschallquellen durch Reflexionen in den Nahfeldholografien, diese stammen dann vom Schienenschall – siehe Anhang A.

7 Modalanalysen

Die Schwelle wurde mittels Impulshammer an einer Kante angeregt und an 24 Punkten über triaxiale Beschleunigungssensoren die Transferfunktionen bestimmt.

Für die Schallanregung über die Schwelle sind wahrscheinlich die ersten Eigenformen bis 800 Hz relevant, da bei 500 Hz der Anteil der Schiene dominant wird.



Mode Nr	Mit Schiene			Ohne Schiene		
	f [Hz]	D [%]	Eigenform *	f [Hz]	D [%]	Eigenform *
1	182.22	14.18	1. Biegung vertikal (asymmetrisch)	130.03	14.88	1. Biegung vertikal (asymmetrisch)
2	422.13	8.37	2. Biegung vertikal	392.06	9.35	2. Biegung horizontal + vertikal
3	575.80	6.37	3. Biegung vertikal	768.12	3.85	3. Biegung horizontal + vertikal; längs
4	777.63	2.35	3. Biegung horizontal	1024.65	2.55	Torsion Mittelteil
5	1179.91	2.87	4. Biegung horizontal + vertikal	1141.3	3.58	4. Biegung horizontal

Zum Vergleich sind die Eigenformen der frei gelagerten B70 Schwelle aus den vorhergehenden Versuchen angegeben.

Mode Nr	B70_1			B70_2		
	f [Hz]	D [%]	Eigenform	f [Hz]	D [%]	Eigenform
1	117.98	3.04	1. Biegung, vertikal	115.78	1.89	1. Biegung, vertikal
2	132.24	1.03	1. Biegung, horizontal	128.5	1.05	1. Biegung, horizontal
3	345.27	0.64	2. Biegung, vertikal	338.21	0.83	2. Biegung, vertikal
4	360.14	0.63	1. Torsion	346.19	1.04	1. Torsion
5	402.69	0.57	1. Torsion + 2. Biegung, horizontal	388.15	0.6	1. Torsion + 2. Biegung, horizontal
6	659.68	0.77	3. Biegung, vertikal	647.28	0.98	3. Biegung vertikal
8	793.28	0.68	1. Längs	787.1	1.47	3. Biegung, horizontal
9	1006.21	0.75	keine klare Identifikation	1036.67	0.92	keine klare Identifikation
10	1060.76	1.73	4. Biegung, vertikal ?	1094.39	1.94	keine klare Identifikation
11	1243.98	0.61	4. Biegung, horizontal	1212.63	0.83	keine klare Identifikation

Folgerungen

Intensitätsmessungen: viele Teilflächen mit negativer Intensität → nicht eindeutig/schwierig zu interpretieren

Holographieresultate sind nicht eindeutig und sehr schwierig zu interpretieren, vermutlich keine sinnvollen Ergebnisse bei Anregung an der Schiene, Schallabstrahlung der Schiene stört zu stark.

Modalanalyse: Wesentlicher Einfluss der Kopplung mit der Schiene auf die Eigenfrequenzen. Ohne Kopplung an die Schiene ergeben sich ähnliche Eigenfrequenzen und -formen wie mit voll elastischer Lagerung. Der Einfluss der Dämpfung durch den Schotter und Schiene ist allerdings erkennbar, so sind bei den ersten Eigenmoden die Dämpfungen im eingebautem Zustand um Faktor 5-10 höher.

A Schallmessungen

A.1 Krafteinleitung

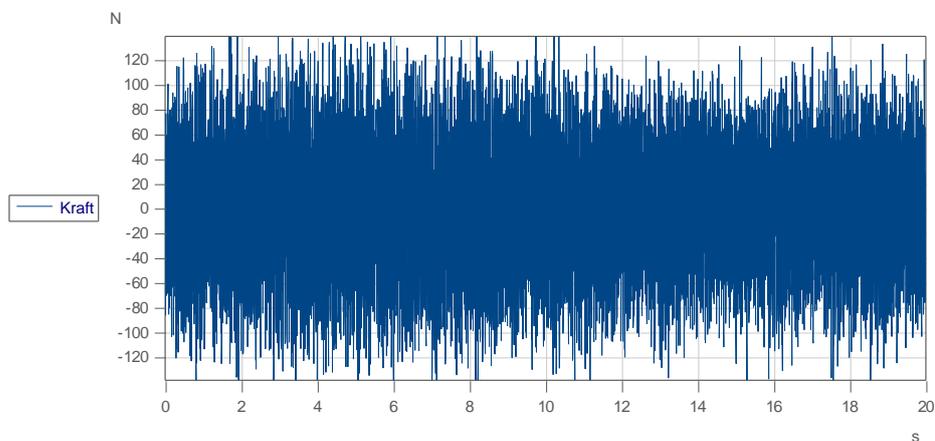


Abbildung 7-1: Tiefrosa Rauschen Shaker

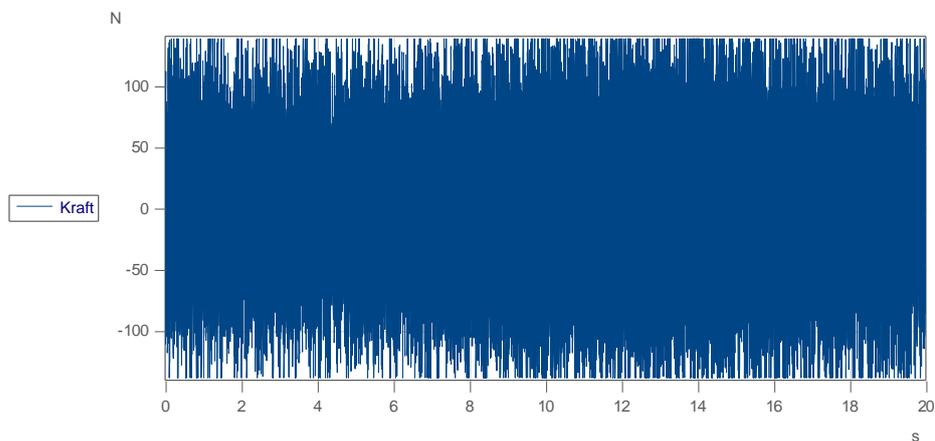


Abbildung 7-2: Weisses Rauschen Shaker

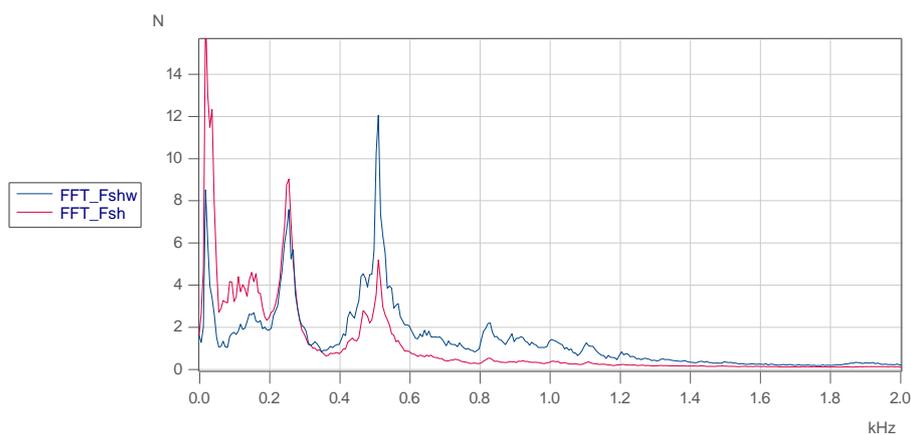


Abbildung 7-3: Tiefrosa Rauschen (FFT_Fsh) und Weisses Rauschen (FFT_Fshw)

A.2 Beschleunigungsspektren

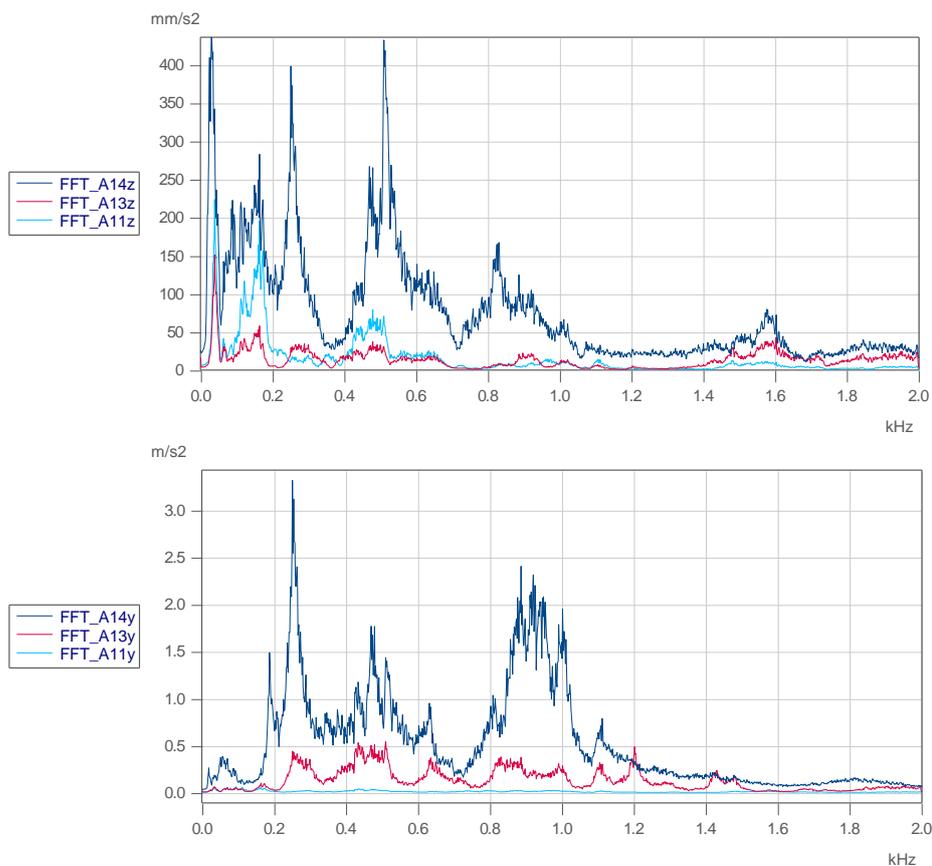


Abbildung 7-4: Beschleunigungsspektren bei Anregung mit Tiefrosa Rauschen in z und y Richtung
A14: Schienenkopf am Shaker, A13: Schienenkopf Schwelle 6, A11: Schwelle 6 unter der Schiene

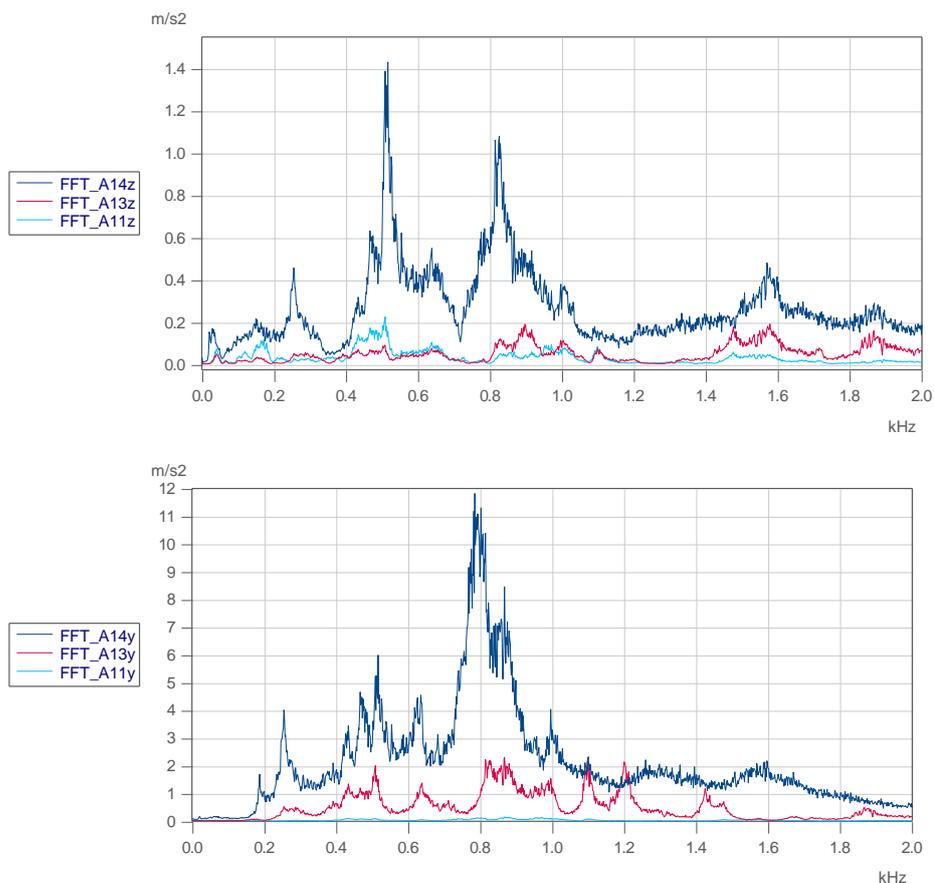


Abbildung 7-5: Beschleunigungsspektren bei Anregung mit Weisssem Rauschen in z und y Richtung
A14: Schienenkopf am Shaker, A13: Schienenkopf Schwelle 6, A11: Schwelle 6 unter der Schiene

A.3 Schallintensitätsmessungen

Ergebnisse mit 50mm Distanzstück

Frequency [Hz]	S6 -1.25	S6 -1.0	S6 -0.75	S6 -0.5	S6 -0.25	S6 0	S6 +0.25	S6 +0.5	S6 +0.75	S6 +1	S6 +1.25
25	-71.3	-70.3	-68.4	-70.3	-71.5	63.7	-67.0	-69.2	64.9	-61.1	-62.7
32	-79.1	-75.5	72.0	52.1	71.1	64.7	-75.2	-75.1	-77.0	75.6	74.6
40	-78.2	-77.3	-69.6	69.7	-66.4	67.3	73.5	-78.4	-66.7	80.2	80.6
50	-76.1	-74.6	-69.2	67.7	68.6	69.6	69.9	64.9	71.2	71.5	68.5
63	-66.2	73.9	69.3	-65.2	74.2	69.3	68.6	71.0	61.0	-68.4	-68.0
80	-69.5	79.6	78.0	-71.9	-69.6	-61.1	68.6	64.1	69.1	68.5	68.3
100	-75.4	-80.1	-79.7	63.1	61.2	-57.1	70.9	65.6	-69.8	69.3	69.3
125	-67.9	65.5	-75.1	-67.1	-72.8	62.5	-66.9	71.7	78.3	79.3	75.4
160	-76.4	-73.6	-71.3	-72.3	-74.8	-69.2	74.1	75.4	80.6	78.9	77.4
200	-68.0	67.5	68.2	64.0	-63.0	-61.7	-61.1	-70.8	73.6	74.6	70.4
250	-67.5	65.0	63.0	-62.0	-69.7	-68.4	-65.7	-67.1	-70.7	-64.6	54.6
315	57.0	57.6	69.2	68.4	-54.8	-62.8	-58.9	60.7	61.9	64.9	63.1
400	55.8	-64.7	69.5	73.1	-68.4	-65.9	-66.0	-68.9	68.2	73.4	-56.7
500	-66.5	-54.9	67.5	71.0	-60.6	-61.1	-68.4	-63.0	66.4	75.5	71.2
630	-58.8	-58.1	60.2	56.7	-29.7	58.1	66.9	49.3	58.5	63.0	60.8
800	-48.9	-56.4	63.2	68.1	60.1	-54.0	64.4	-57.8	54.3	62.8	-49.0
1000	49.7	-42.4	57.2	61.1	58.4	-53.6	61.2	-60.7	56.0	62.2	64.9
1250	-28.6	-37.3	48.3	49.0	35.1	50.4	44.5	-53.0	43.2	57.4	61.6
1600	30.2	39.4	47.2	48.9	44.7	-44.1	47.7	-44.9	53.3	51.6	49.3
2000	16.0	-31.3	43.0	42.0	43.1	39.8	46.8	-43.7	52.0	40.8	52.8
2500	-27.6	-31.4	-11.7	-30.9	-30.1	-31.9	-26.9	28.9	30.1	-28.9	34.1
3150	-18.8	-31.1	20.8	-30.0	-30.4	-29.3	-28.2	26.8	27.0	-27.0	29.3
4000	15.5	-24.0	-5.2	22.2	-20.9	-24.8	-26.1	26.2	20.0	10.7	17.9
5000	-13.7	25.3	21.5	-13.6	-15.6	-15.2	-15.2	-19.8	18.3	-17.7	10.1
6300	3.9	18.7	18.0	-16.3	-14.0	-18.4	-9.2	-15.4	-13.5	-13.3	-18.3
8000	12.8	14.6	18.8	9.3	-6.1	16.3	7.2	10.8	18.3	16.4	16.6
10000	-14.6	-15.2	-12.4	-15.5	-15.8	-13.6	-15.6	-14.6	9.9	-13.6	-14.0
L	59.9	81.1	80.3	78.3	75.6	74.1	79.7	78.6	83.9	85.9	84.1
A	55.2	62.3	70.7	73.3	62.2	57.9	69.1	63.8	71.7	75.8	72.3

Abbildung 7-6: Schallintensität Oberseite der Schwelle in z-Richtung bei Tiefrosa Anregung, S6+0.75 ist die mittels Shaker angeregte Schiene Links und S6 0 ist die Schwellenmitte.

Ergebnisse mit 12mm Distanzstück

	Tiefrosa	Tiefrosa	Tiefrosa	Tiefrosa	Weiss	Weiss	Weiss	Weiss	Weiss	Weiss	Weiss	Weiss	Weiss	Weiss
	S6 -100	S -25	S6 -125	S -50	S6 -100	S -25	S 0	S 50	S6 -125	S6 -125	S -50	S 25	S100	S6 125
Freq	I [dB]	I [dB]	I [dB]	I [dB]	I [dB]	I [dB]	I [dB]	I [dB]	I [dB]	I [dB]	I [dB]	I [dB]	I [dB]	I [dB]
50	63.9	-69.1	-58.3	-74.1	62.8	-63.1	-62.2	68.1	-57.1	-55.9	-68.1	-70.3	-69.8	-64.7
63	66.6	-70.2	64.3	-77.5	-59.6	-70.0	-70.3	66.7	71.8	45.2	-71.5	-71.5	58.0	62.7
80	73.3	-76.3	68.0	73.9	69.2	-72.5	-53.1	72.1	76.7	58.8	67.7	-67.7	61.1	62.7
100	-77.0	-77.8	-59.1	-67.1	-68.2	-72.9	-72.0	74.9	-71.7	-64.6	-66.1	-73.3	-63.6	-73.8
125	71.1	-90.2	-69.3	-83.8	78.1	-87.2	-77.0	84.9	87.2	-74.1	-81.4	-79.9	-74.8	-77.0
160	62.0	-84.8	-72.3	-78.3	71.5	-82.6	77.3	77.9	82.7	-74.7	-77.3	-73.8	77.8	-77.1
200	-58.0	-65.7	-59.0	72.7	61.3	-62.2	-67.0	78.2	78.5	63.3	72.7	63.6	71.9	-69.0
250	-64.2	-67.8	-58.3	68.3	-67.9	-72.3	-71.7	64.1	72.1	69.3	69.2	-72.9	-71.3	-73.5
315	-52.3	60.4	-48.1	66.5	-58.1	65.9	-61.8	64.0	51.9	49.9	72.0	-63.7	63.5	65.3
400	-60.5	-71.0	56.1	75.3	-67.4	-78.9	-75.7	78.1	-67.3	64.9	82.7	-75.3	-60.0	74.9
500	-55.2	-68.4	-56.3	67.6	-66.0	-76.5	-80.6	76.3	79.4	-63.7	77.2	75.1	76.1	-75.0
630	-53.0	-54.5	-52.8	-55.6	-65.5	-67.1	78.9	70.2	-69.9	-64.0	-69.3	-68.6	73.7	-70.7
800	-51.1	59.3	-45.0	67.4	-66.9	75.1	79.4	67.5	-74.9	-60.1	83.6	-73.9	-76.3	-69.7
1000	-39.7	60.0	42.0	54.6	-55.8	76.4	77.0	69.9	80.8	58.6	70.8	-69.1	-72.8	62.9
1250	-34.4	46.6	-33.4	48.2	-48.0	62.8	65.2	66.5	75.4	-48.3	63.1	-61.6	65.3	-55.6
1600	30.8	45.2	-27.2	46.3	46.0	60.4	60.8	64.7	62.7	-39.5	60.6	-61.7	50.2	-46.2
2000	-32.6	46.5	11.5	44.1	-49.9	61.9	63.8	65.9	70.6	43.9	55.5	59.2	-59.6	50.1
2500	-29.3	-33.6	14.1	-24.9	-37.0	43.9	45.9	54.7	54.9	34.5	-49.8	-40.5	-48.2	-34.5
3150	-26.8	-33.7	-22.5	25.4	-27.6	-32.6	-32.5	42.5	39.3	27.3	36.8	32.5	32.9	-35.7
4000	-27.0	-30.8	-21.9	27.1	-29.4	-32.4	-35.5	42.4	34.8	-15.8	34.5	-30.4	21.5	-33.6
5000	-25.7	-28.8	-14.8	-20.4	-27.2	-31.2	-29.5	42.1	33.8	14.1	23.4	-30.3	27.6	26.7
6300	-20.3	-24.6	-12.2	17.1	-20.9	-25.4	-25.3	25.3	21.5	-10.4	24.4	-23.1	-24.9	-23.5
8000	8.5	-18.9	-14.3	-19.1	10.2	-13.4	-17.6	17.5	18.3	-13.9	-16.4	-21.9	-22.7	-20.8
10000	-15.6	-21.1	-14.8	-20.0	-15.7	-20.7	-21.1	22.3	-19.8	-14.1	-20.0	-21.7	-22.0	-21.4
L	71.6	64.8	56.3	78.8	79.1	79.3	84.4	87.9	90.2	71.6	87.2	75.5	81.6	75.6
A	-61.3	-76.8	-61.3	71.1	-69.7	63.6	80.5	74.6	83.3	-64.1	84.6	-75.8	-72.0	-74.1

Abbildung 7-7: Schallintensität Oberseite der Schwelle in z-Richtung bei TiefRosa und Weiss'er Anregung, S6 -100 ist die ruhende Schiene Rechts und S6 0 ist die Schwellenmitte.

	Tiefrosa	Tiefrosa	Tiefrosa	Tiefrosa	Weiss	Weiss	Weiss	Weiss	Weiss	Weiss	Weiss	Weiss	Weiss
	R Rechts Y	R Links Y	R Rechts z	R Links z	R Rechts Y	R Links Y	R Links Y	R Links Z	R Rechts z	R Links z	R Rechts y	R Rechts Z	bg
Freq	I [dB]	I [dB]	I [dB]	I [dB]	I [dB]	I [dB]	I [dB]	I [dB]	I [dB]	I [dB]	I [dB]	I [dB]	I [dB]
50	64.1	58.1	-62.5	61.0	56.5	57.3	57.2	60.0	-57.4	52.6	61.7	68.7	68.7
63	66.5	-69.7	-75.9	-68.4	58.4	52.7	64.8	67.0	-68.3	-62.2	68.7	-73.7	-73.7
80	64.4	56.4	-70.9	-63.3	57.6	48.1	67.4	61.6	-65.0	-63.7	66.6	-66.9	-66.9
100	-66.1	-66.9	63.2	-73.9	-61.6	57.9	69.1	75.9	63.4	-70.3	73.4	-75.5	-75.5
125	-74.1	71.9	-78.9	80.0	-70.8	66.5	-74.7	-75.8	-76.4	77.7	77.9	86.8	86.8
160	69.9	72.6	-70.7	74.1	66.8	70.5	74.6	-69.0	-68.5	72.5	70.3	78.4	78.4
200	-67.1	68.4	61.3	-58.7	-67.9	69.5	-72.3	-74.5	62.4	-60.8	73.9	71.7	71.7
250	-54.2	-67.3	64.0	-66.2	52.4	66.7	-70.4	70.2	66.0	-68.8	70.8	-67.1	-67.1
315	57.6	54.4	60.6	54.6	59.3	64.4	-69.4	72.2	63.2	59.7	78.1	-65.1	-65.1
400	63.6	74.2	65.0	59.5	71.1	81.9	74.3	78.9	72.7	67.1	89.1	74.6	74.6
500	63.6	76.8	64.3	65.9	72.1	85.5	80.4	75.5	73.6	74.6	93.0	75.8	75.8
630	52.9	68.3	54.9	56.2	66.2	80.4	72.1	71.6	67.2	67.8	88.5	63.9	63.9
800	53.7	68.2	53.7	55.2	69.1	83.8	-77.1	77.4	69.8	70.7	92.9	76.3	76.3
1000	50.6	69.0	50.0	50.2	66.9	85.4	69.4	69.3	66.2	66.5	90.5	68.3	68.3
1250	-29.2	60.8	41.6	39.0	-42.1	76.5	-44.9	63.8	57.6	54.7	84.1	61.3	61.3
1600	27.5	51.2	38.0	47.9	44.5	64.8	-47.9	57.2	52.4	61.5	71.3	67.3	67.3
2000	21.9	46.1	-33.9	50.8	28.9	62.7	-48.2	-48.1	-46.5	65.0	72.8	69.1	69.1
2500	-18.3	24.3	-27.0	28.6	-31.4	53.2	35.8	49.7	40.5	48.6	60.8	57.0	57.0
3150	13.3	17.5	-26.2	21.0	18.0	48.2	34.6	32.8	25.5	33.6	40.0	39.0	39.0
4000	-16.6	-18.8	-23.5	14.5	-20.3	45.6	-27.1	-31.1	-20.3	27.6	36.7	32.4	32.4
5000	-18.6	-17.8	-21.3	-16.6	-18.7	43.0	-17.1	-30.3	-21.7	20.0	29.9	-10.8	-10.8
6300	-13.6	-14.1	-15.8	-13.9	-8.4	31.5	-23.6	-26.9	-11.0	15.0	33.0	-20.1	-20.1
8000	-14.5	-14.0	14.5	15.8	-14.6	24.2	-24.6	-25.8	18.3	19.5	22.3	-18.1	-18.1
10000	-15.2	-14.6	-14.9	-14.0	-15.1	13.3	-26.3	-26.2	-14.6	-13.7	24.3	-25.3	-25.3
L	71.9	81.4	71.3	81.2	77.2	91.1	82.9	84.1	78.5	81.4	98.5	88.4	88.4
A	62.5	77.1	60.0	67.6	74.2	89.6	75.2	80.5	75.2	76.1	96.8	80.2	80.2

Abbildung 7-8: Schallintensität der angeregten Schiene Links bei TiefRosa und Weiss'er Anregung, seitliche y-Richtung und z-Richtung.

A.4 Nahfeldholografie

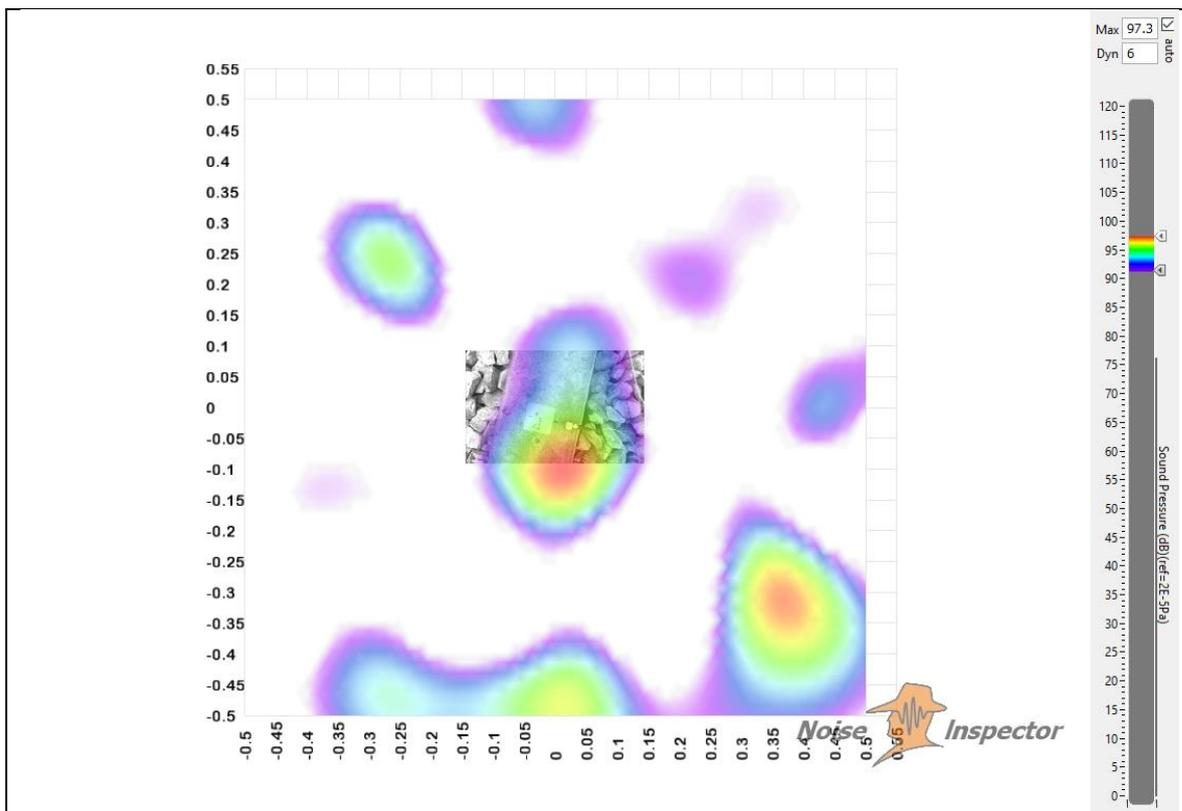


Abbildung 7-9: measurements/BS0008.tdms, SONAH - Sound Pressure (FD) - Linear, time settings: 15.000 -25.000 s (duration: 10.000s), distance: 0.12 m, Frequency Settings: 105 Hz -140 Hz

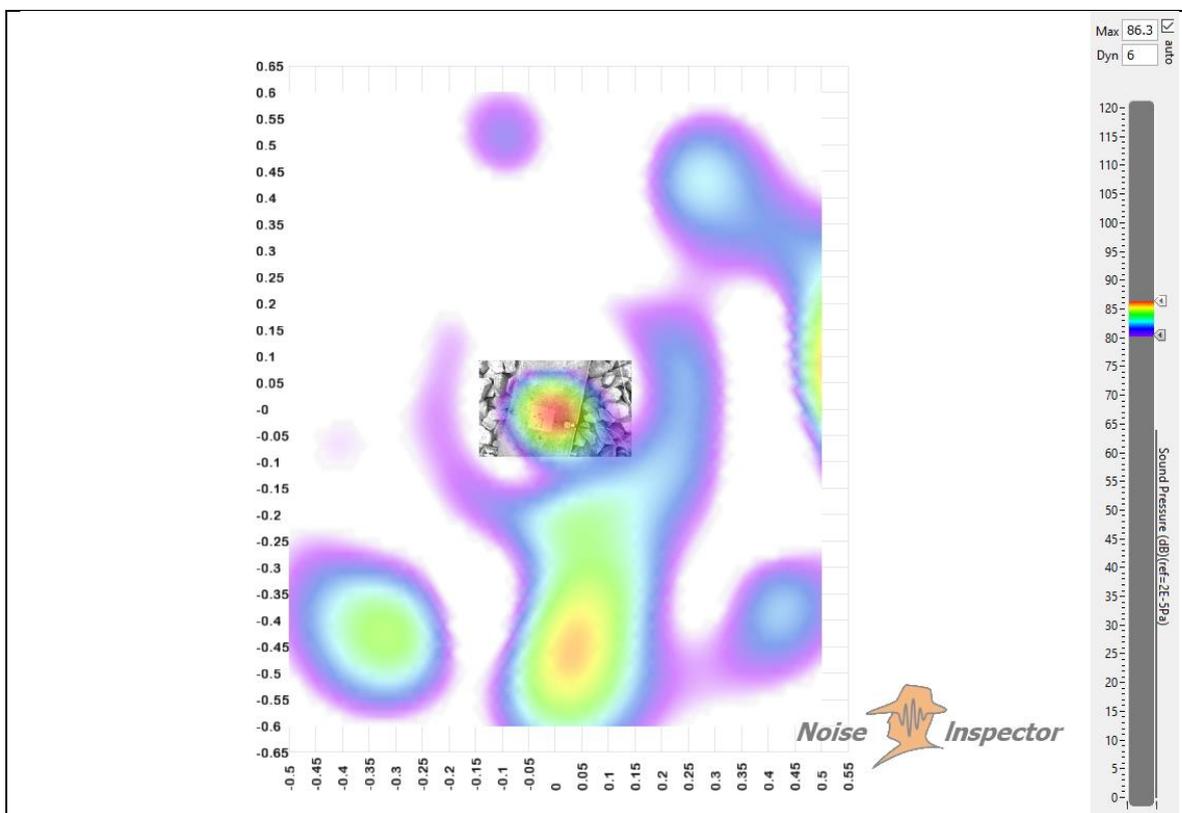


Abbildung 7-10: measurements/BS0008.tdms, SONAH - Sound Pressure (FD) - Linear, time settings: 15.000 -25.000 s (duration: 10.000s), distance: 0.12 m, Frequency Settings: 225 Hz -280 Hz

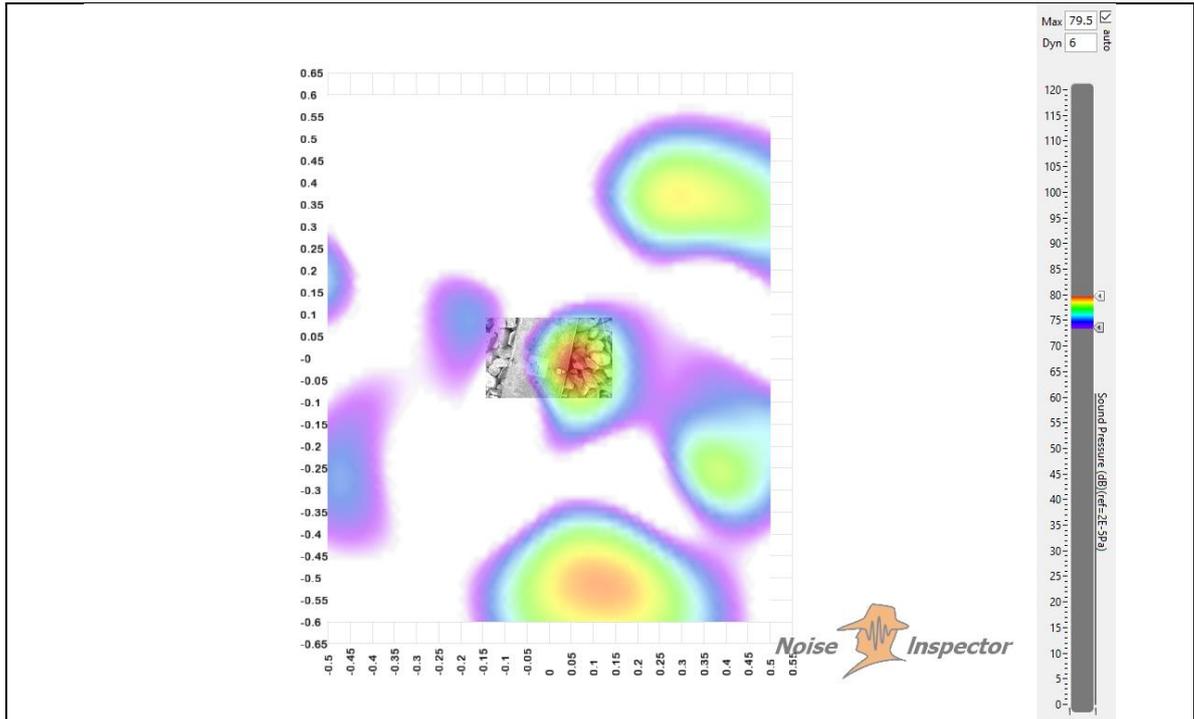


Abbildung 7-11: measurements/BS0008.tdms, SONAH - Sound Pressure (FD) - Linear, time settings: 15.000 -25.000 s (duration: 10.000s), distance: 0.12 m, Frequency Settings: 320 Hz -380 Hz

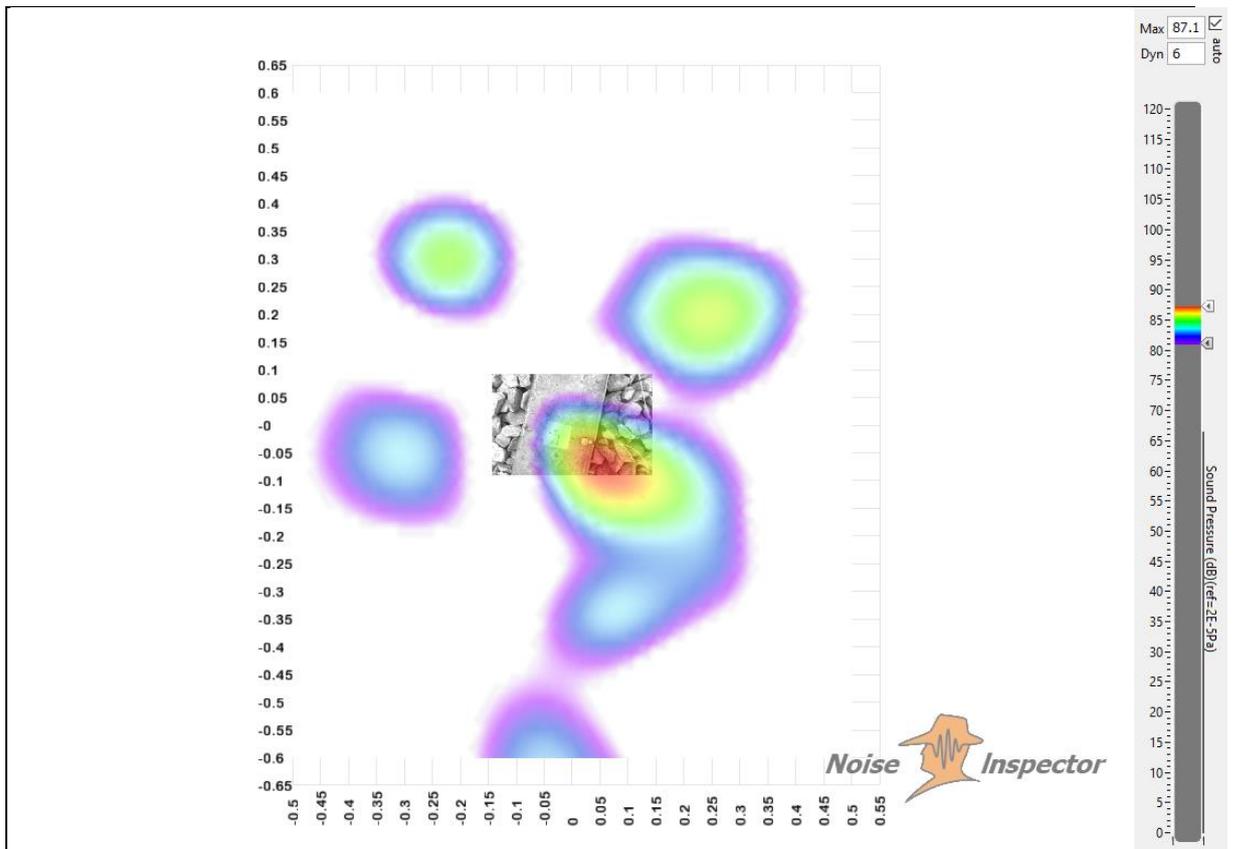


Abbildung 7-12: measurements/BS0009.tdms SONAH - Sound Pressure (FD) - Linear, time settings: 0.000 -4.779 s (duration: 4.779s) distance: 0.28 m, Frequency Settings: 470 Hz -530 Hz

Frequency Settings: 570 Hz -670 Hz

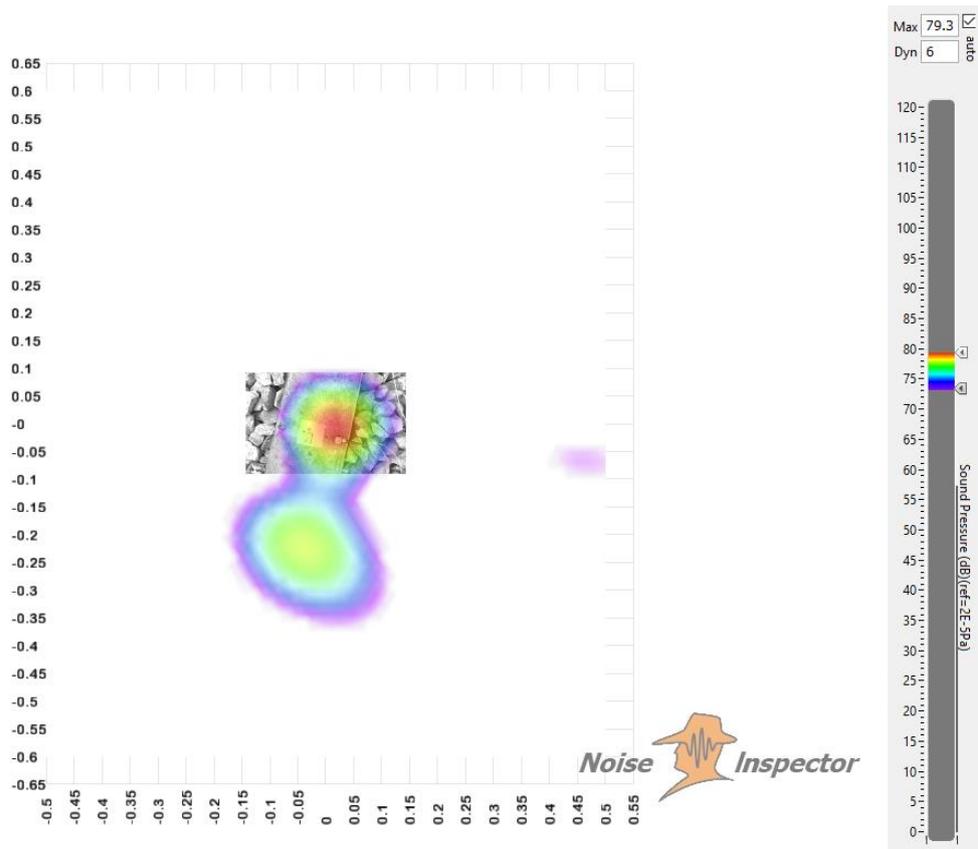


Abbildung 7-13: measurements/BS0008.tdms, SONAH - Sound Pressure (FD) - Linear, time settings: 15.000 -25.000 s (duration: 10.000s), distance: 0.12 m, Frequency Settings: 790 Hz -870 Hz

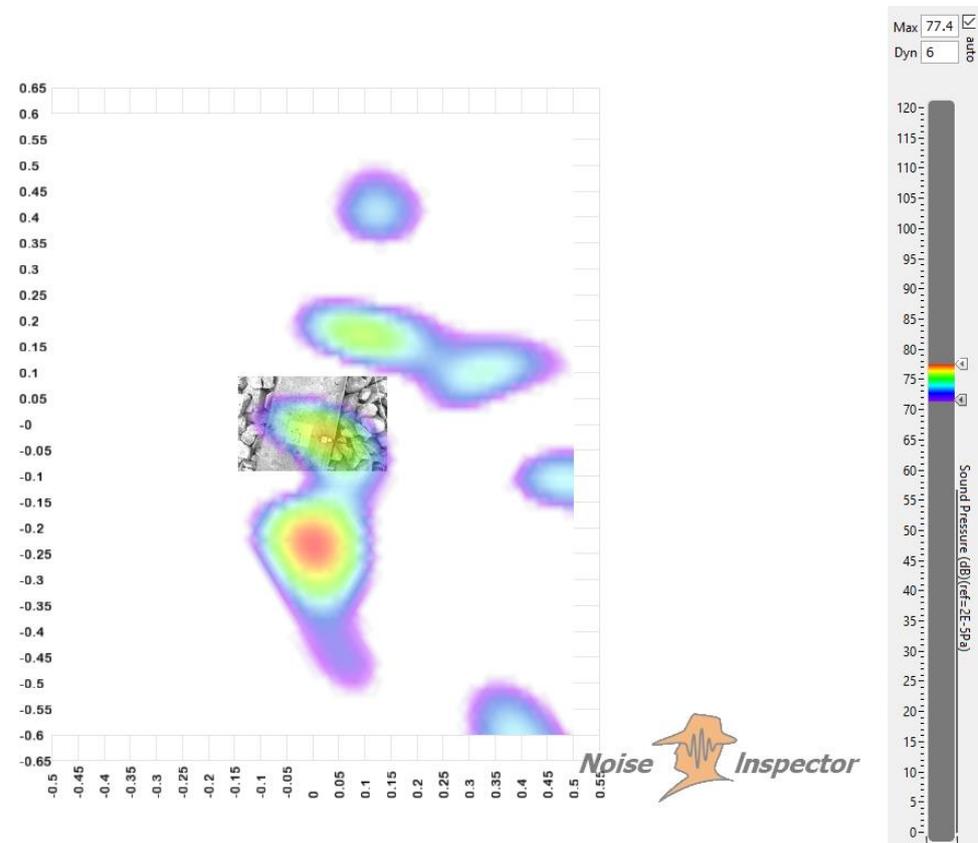


Abbildung 7-14: measurements/BS0008.tdms, SONAH - Sound Pressure (FD) - Linear, time settings: 15.000 -25.000 s (duration: 10.000s), distance: 0.12 m, Frequency Settings: 790 Hz -870 Hz

A.5 Nahfeldmessung über der Schiene links (Shakeranregung)

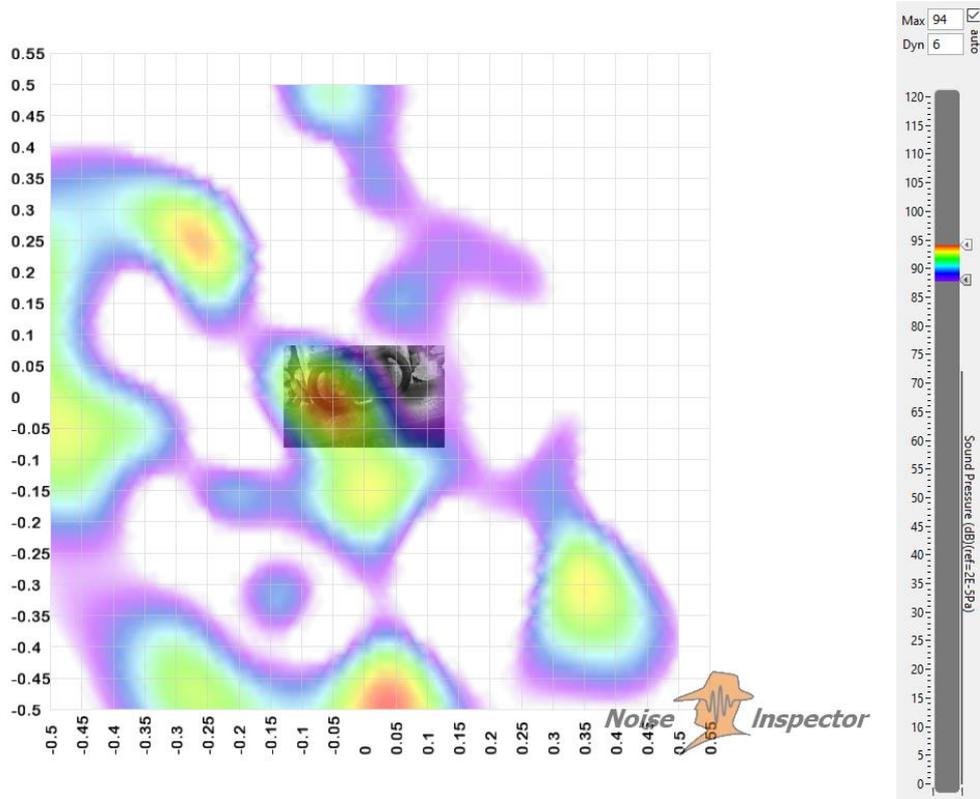


Abbildung 7-15: measurements/BS0016.tdmsSONAH - Sound Pressure (FD) - Linear time settings: 0.000 -4.779 s (duration: 4.779s) distance: 0.25 m Frequency Settings: 3rd octave: 125 Hz

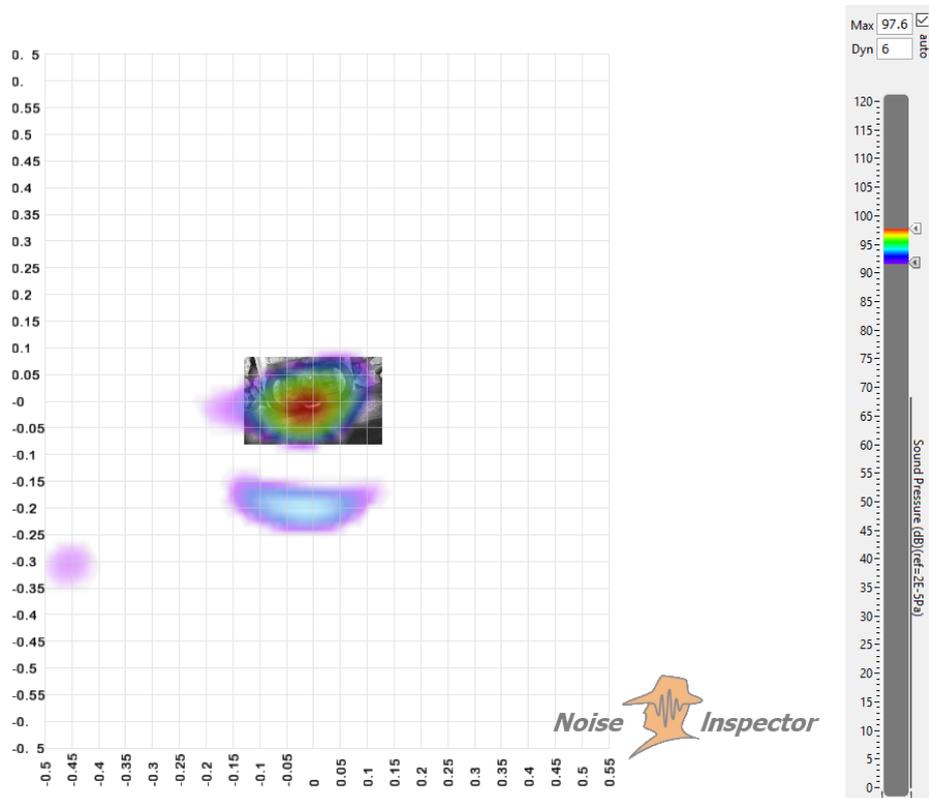


Abbildung 7-16: measurements/BS0016.tdmsSONAH - Sound Pressure (FD) - Linear time settings: 0.000 -4.779 s (duration: 4.779s) distance: 0.25 m Frequency Settings: 3rd octave: 250 Hz

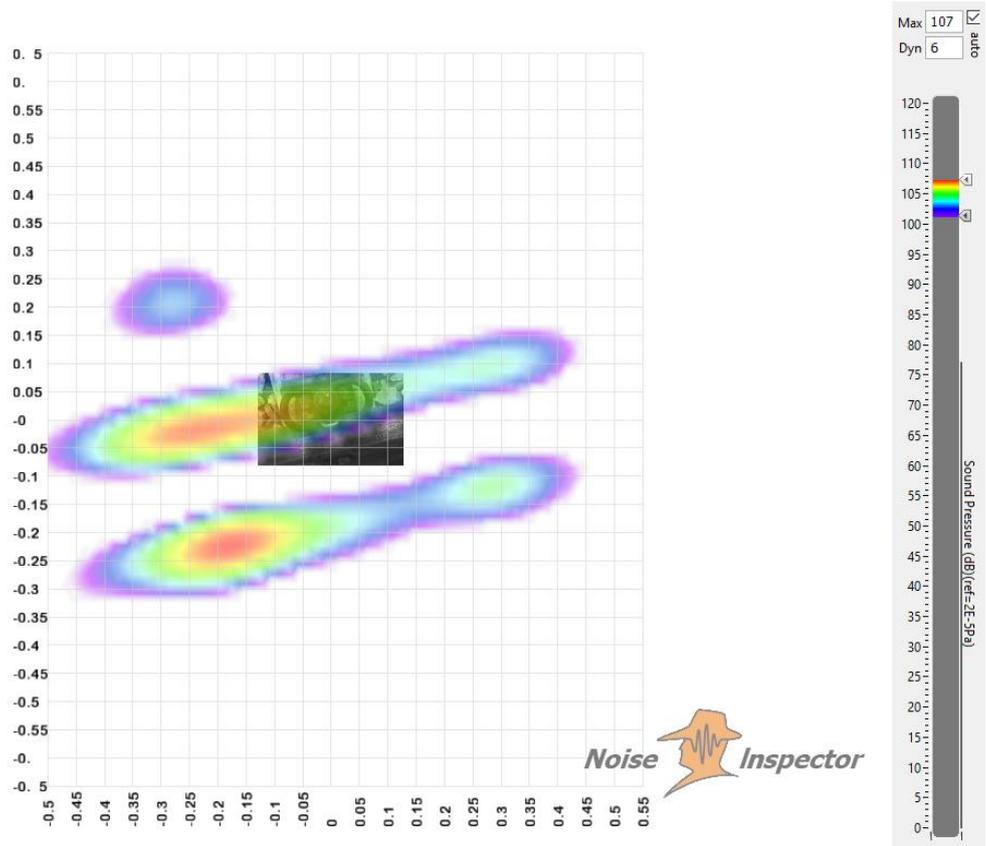


Abbildung 7-17: measurements/BS0016.tdmsSONAH - Sound Pressure (FD) - Linear time settings: 0.000 -4.779 s (duration: 4.779s)
distance: 0.25 m Frequency Settings: 3rd octave: 500 Hz

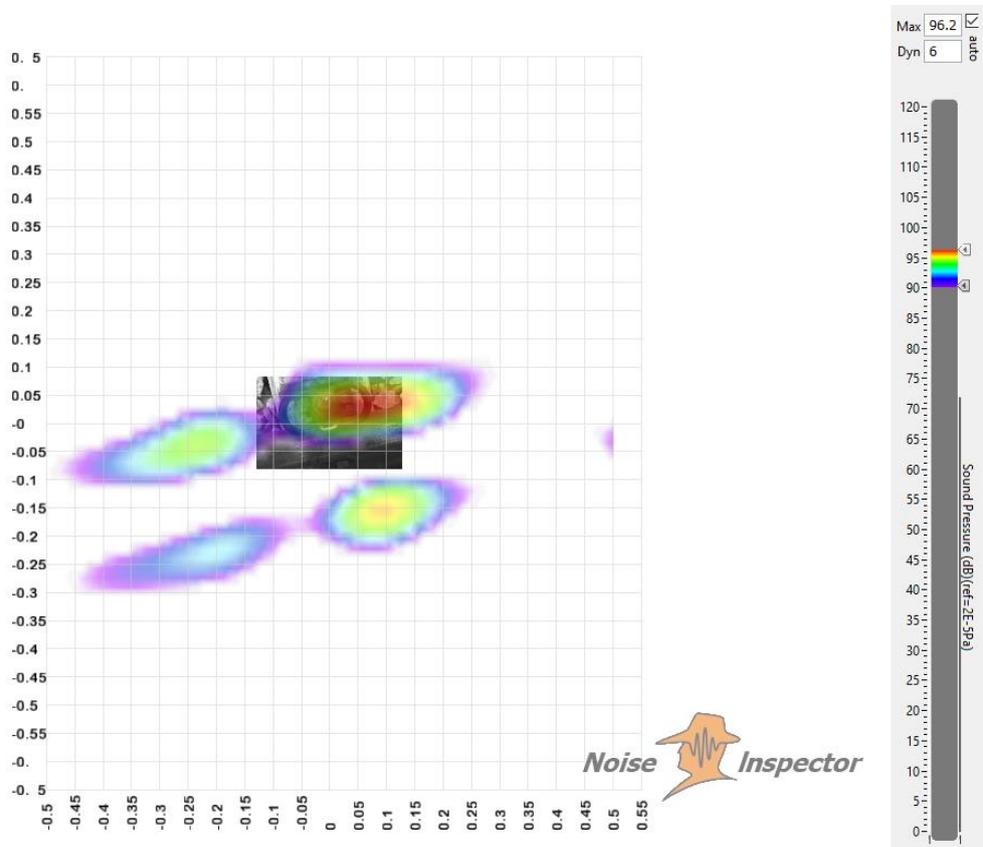
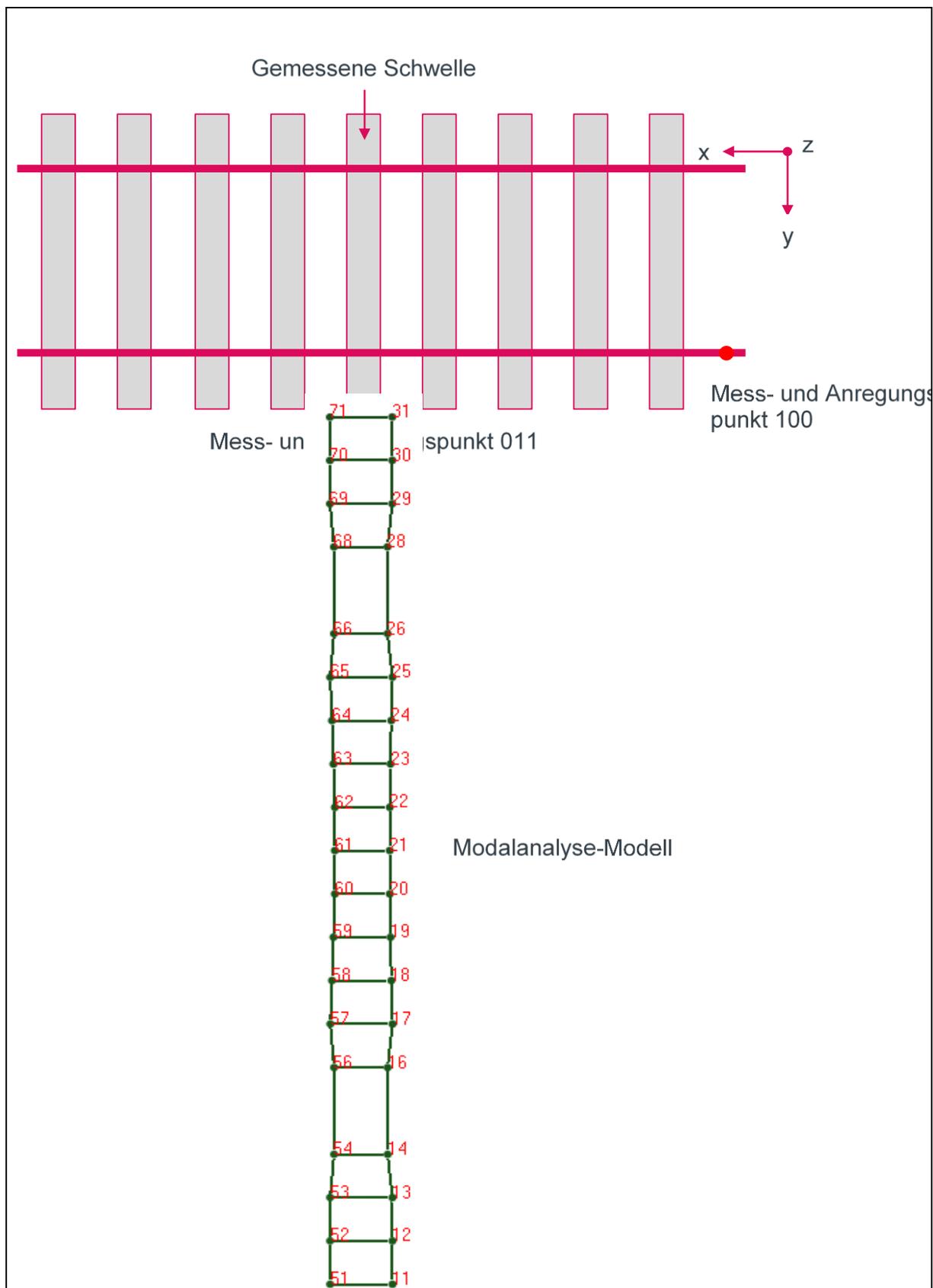


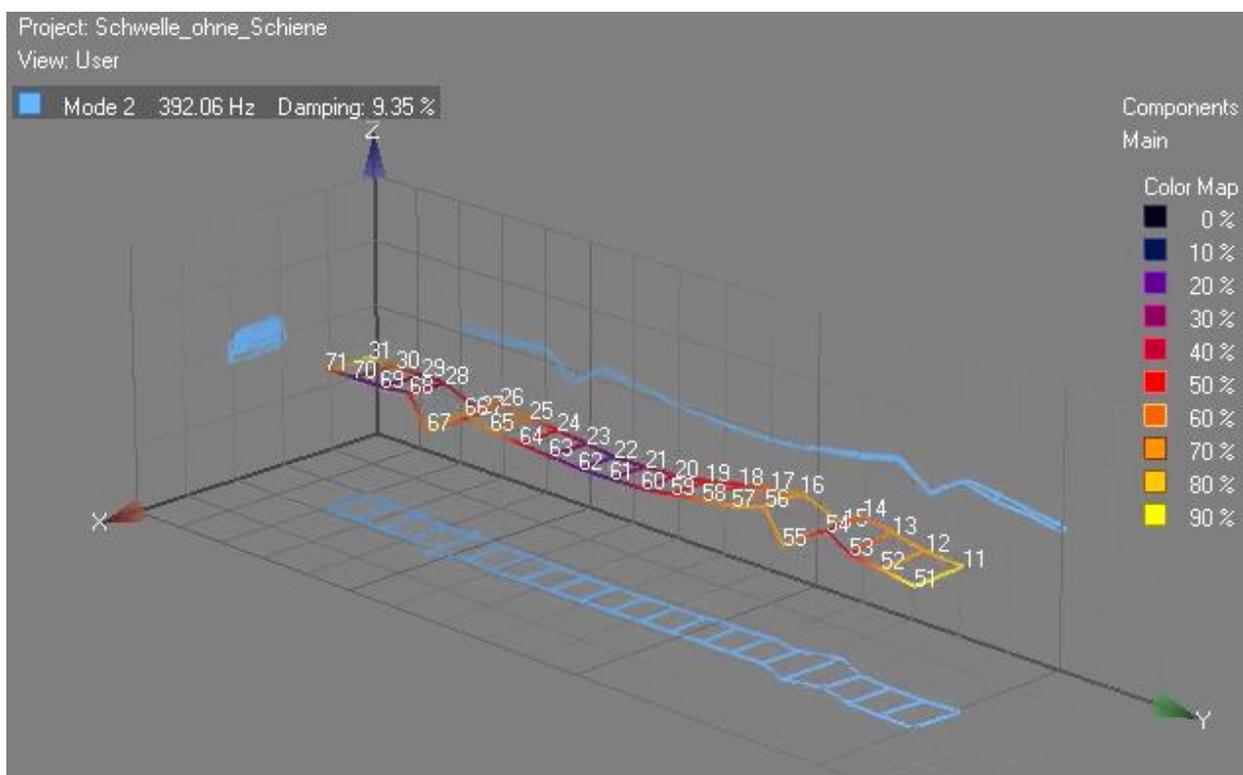
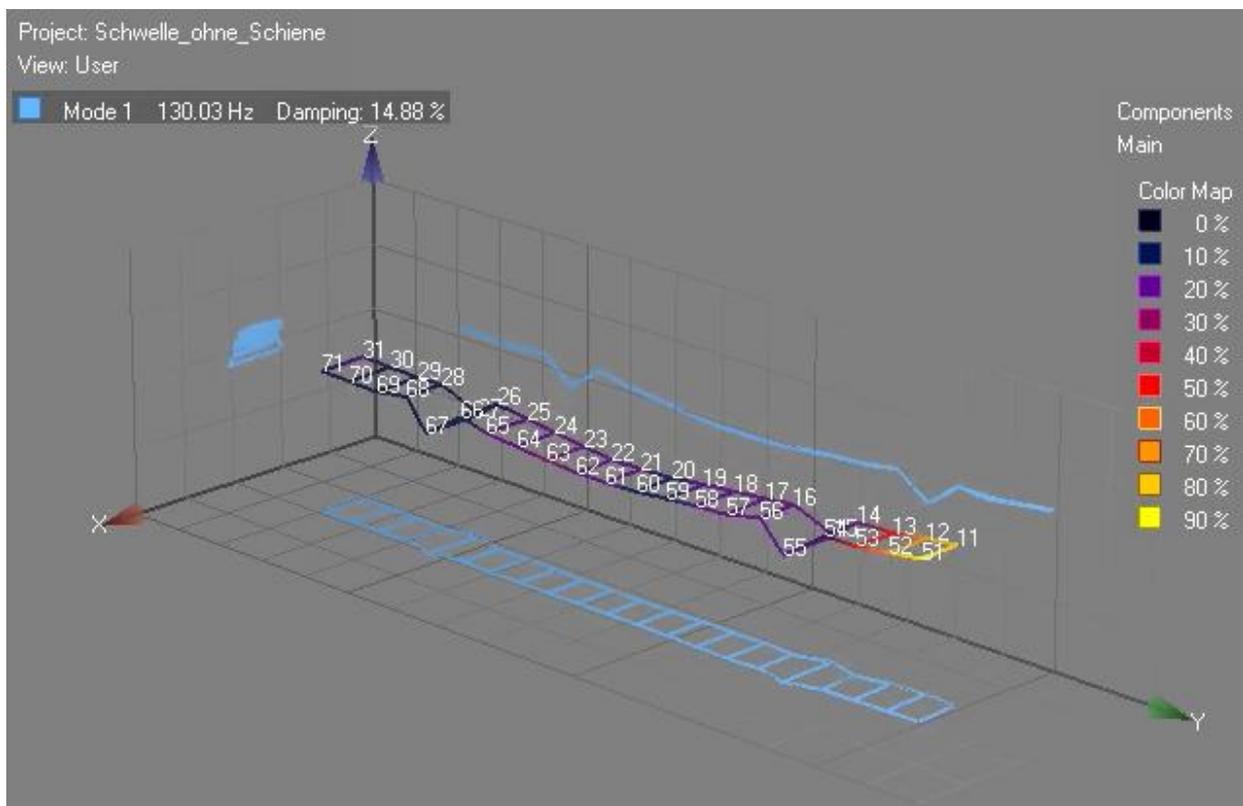
Abbildung 7-18: measurements/BS0016.tdmsSONAH - Sound Pressure (FD) - Linear time settings: 0.000 -4.779 s (duration: 4.779s)
distance: 0.25 m Frequency Settings: 3rd octave: 1000 Hz

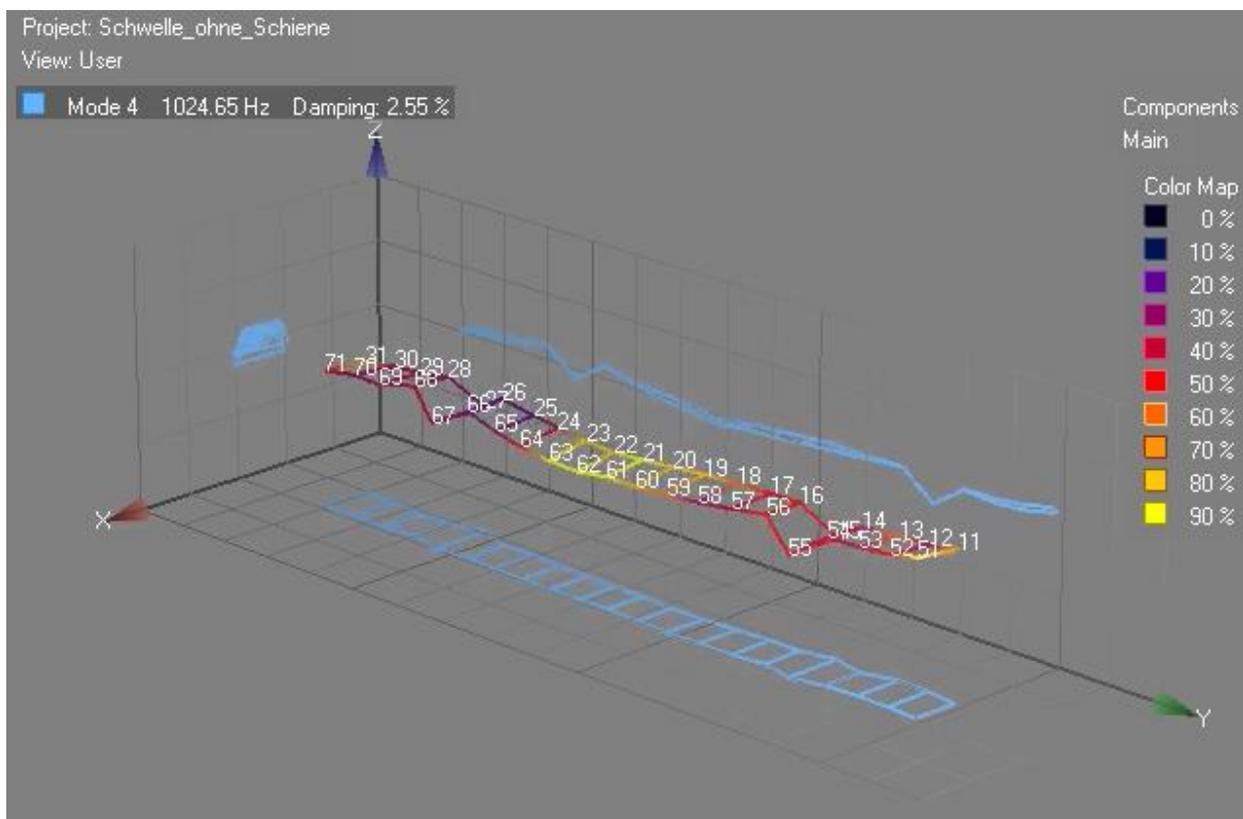
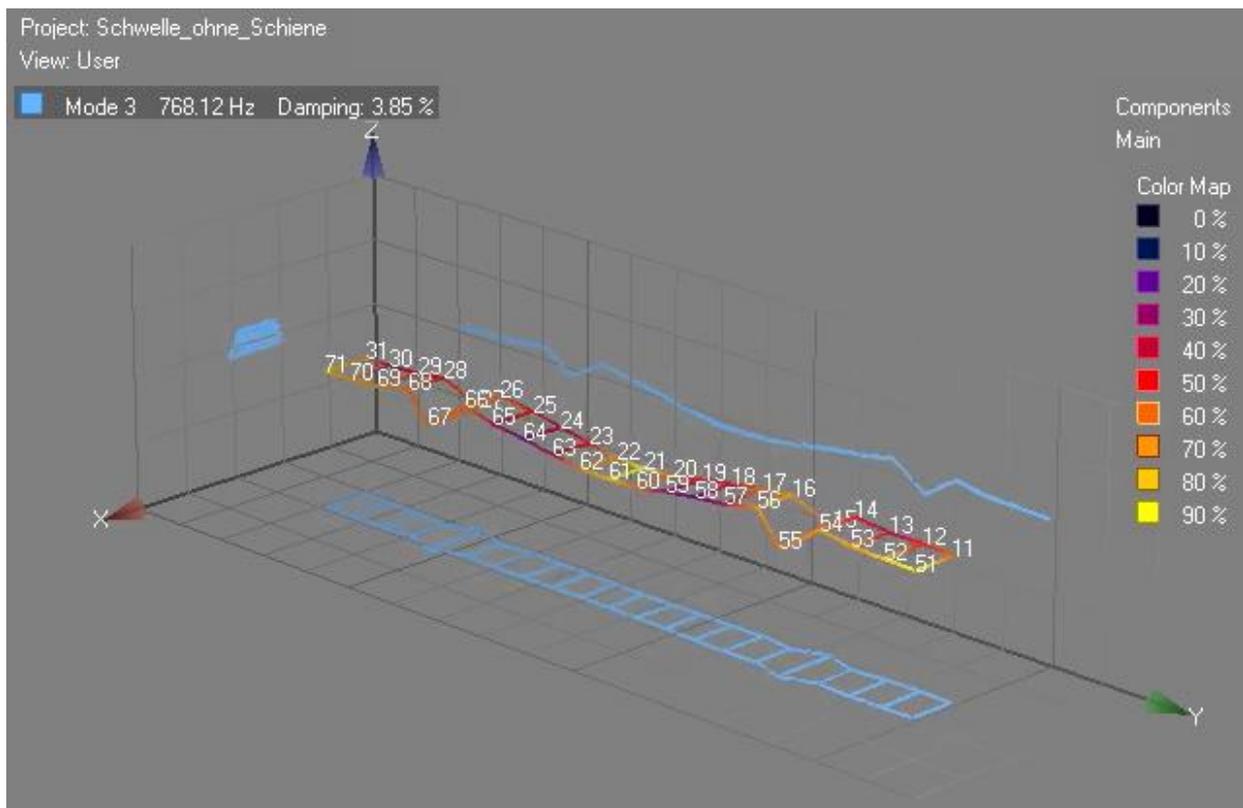
B Modalanalyse

B.1 Modalanalyse Setup

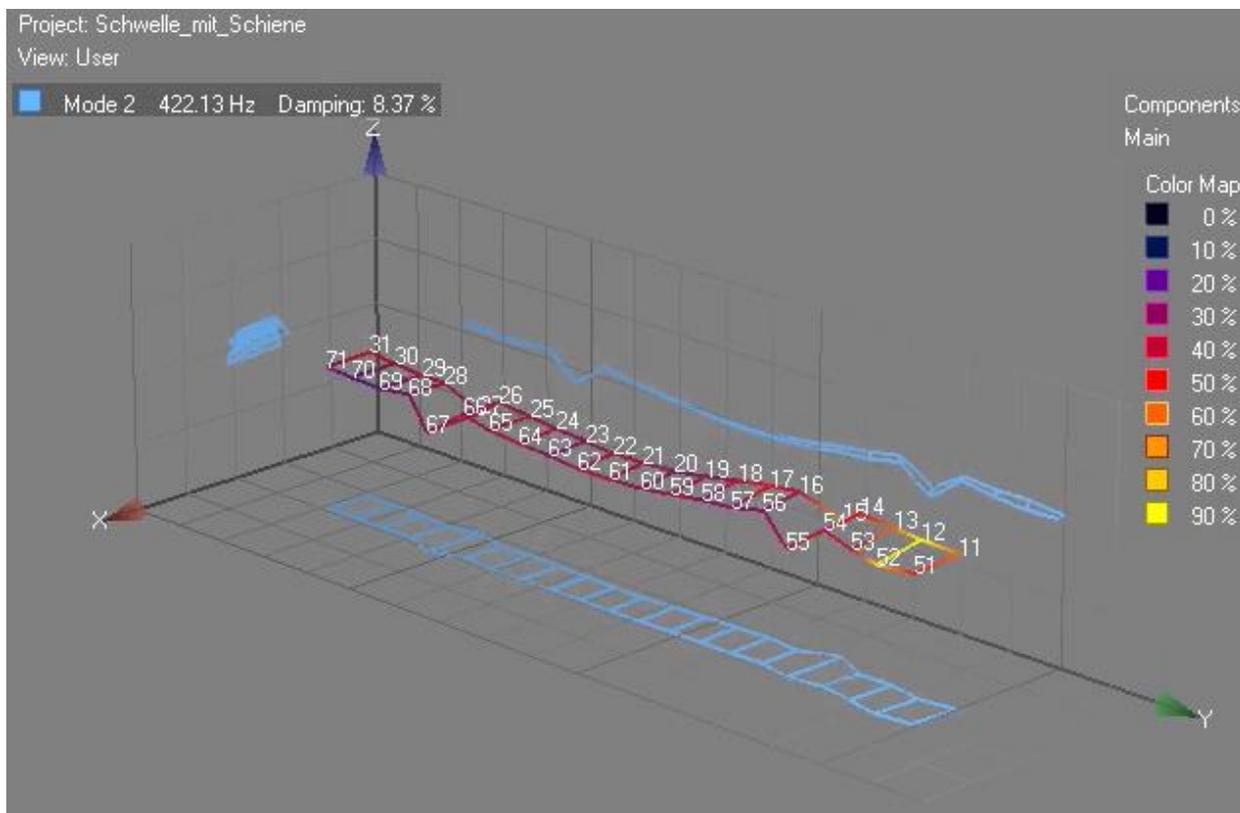
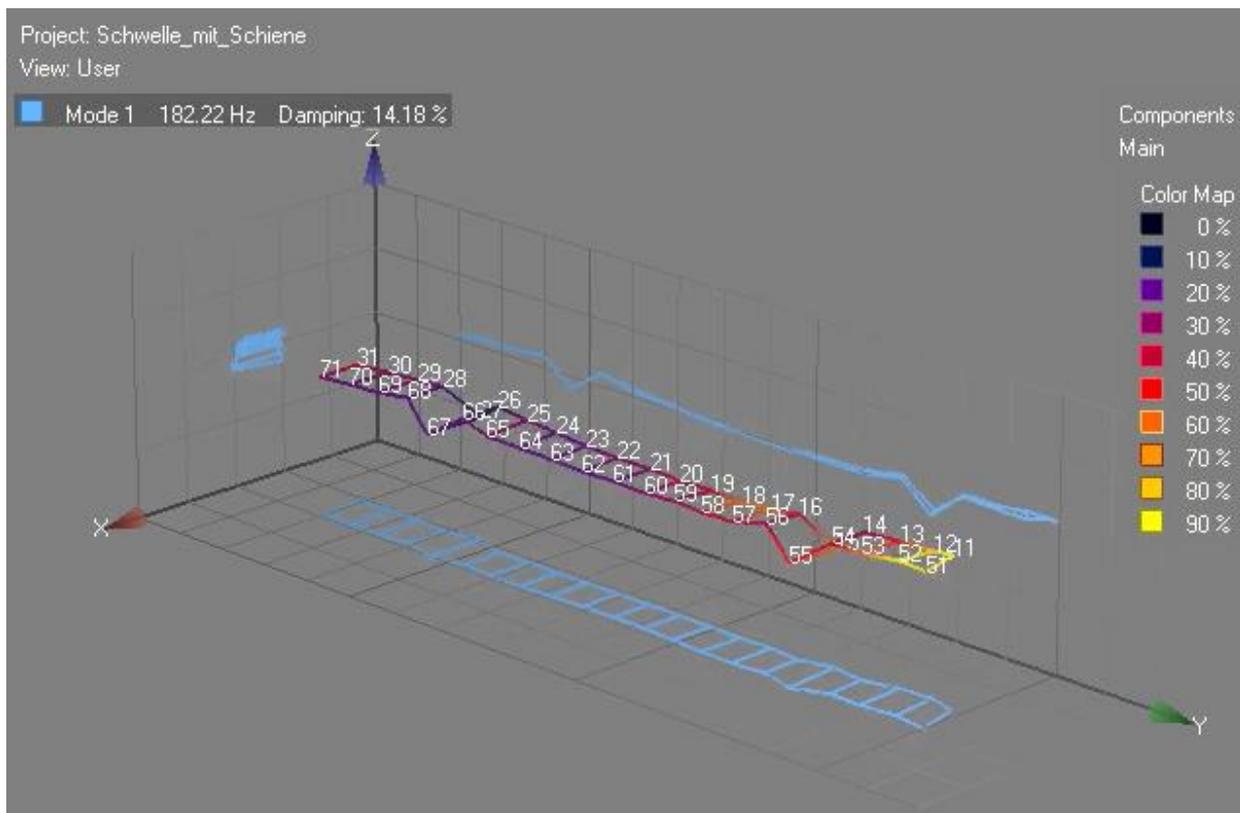


B.2 Ergebnisse ohne Schiene





B.3 Messung mit Schiene



B.4 Ergebnisse B70 frei gelagert

