

Empa
Überlandstrasse 129
CH-8600 Dübendorf
T +41 58 765 11 11
F +41 58 765 11 22
www.empa.ch



Schweizerische Bundesbahnen SBB
z.H. Herr Scossa-Romano
Infrastruktur, Lärmsanierung
Hilfikerstrasse 3
3000 Bern 65

Ermittlung der Wirksamkeit von Schienendämpfern mittels Vorbeifahrts-Schalldruckpegelmessungen in Niederwangen

Untersuchungsbericht:	Empa-Nr 5214.005465
Ihr Auftrag vom:	18. August 2015
Anzahl Seiten inkl. Beilagen:	18

Dübendorf, 05. Januar 2016

Der Projektleiter:

Jean Marc Wunderli

Abteilung Akustik / Lärminderung

Der Abteilungsleiter:

Kurt Eggenschwiler

Anmerkung: Bericht und Unterlagen werden 10 Jahre archiviert.

Inhaltsverzeichnis

- 1 Auftrag
- 2 Messplanung
- 3 Messdurchführung
- 4 Auswertung
- 5 Resultate
- 6 Diskussion

Zusammenfassung

An der Eisenbahnstrecke Niederwangen-Bern wurden zu Testzwecken vier verschiedene Typen von Schienendämpfern der Firmen Tata, Schrey & Veit, Vossloh und Strail installiert. Die Empa Abteilung Akustik/Lärminderung wurde beauftragt, die Wirksamkeit von drei der vier Produkte anhand von Vorbeifahrts-Schalldruckpegelmessungen zu ermitteln.

Die Auswertungen zeigten bei einem der drei Produkte, dem Dämpfer der Firma STRAIL, eine mittlere Wirkung von 2.4 dB(A). Bei den beiden anderen messtechnisch erfassten Produkten betrug der Effekt weniger als 0.5 dB(A). Die Detailanalyse der spektralen Messresultate weist jedoch darauf hin, dass eine direkte Vergleichbarkeit der vier Streckenabschnitte nicht zwingend gegeben ist. So wurden Pegelunterschiede auch in Frequenzbereichen gemessen, in welchen gemäss theoretischem Verständnis die Schienendämpfer keinen Einfluss entwickeln. Auch treten spektral vergleichsweise hohe Pegelvariationen auf. Es steht die Vermutung im Raum, dass u.a. aufgrund von Variationen bei den lokalen Schienenrauigkeiten nicht von einer einheitlichen Anregung ausgegangen werden kann.

1 Auftrag

An der Eisenbahnstrecke Niederwangen-Bern wurden zu Testzwecken vier verschiedene Typen von Schienendämpfern der Firmen Tata, Schrey & Veit, Vossloh und Strail installiert. Die Empa Abteilung Akustik/Lärminderung wurde beauftragt, die Wirksamkeit von drei der vier Produkte anhand von Vorbeifahrtschalldruckpegelmessungen zu ermitteln. Dabei soll eine statistisch relevante Anzahl von Fernverkehrs-Regelzügen (>10) gleichzeitig an drei Messquerschnitten mit Dämpfern sowie an einem Referenzquerschnitt ohne Dämpfer erfasst werden.

2 Messplanung

Anlässlich einer Begehung wurden folgende Messquerschnitte für die Messungen ausgewählt (Angaben zur Kilometrierung gemäss Auftraggeber):

- | | | |
|-------------------|----------------------------------|----------------|
| - Querschnitt Q1: | Referenz: | Kilometer 91.3 |
| - Querschnitt Q2: | Dämpfer Typ I (STRAIL): | Kilometer 91.5 |
| - Querschnitt Q3: | Dämpfer Typ II (Vossloh): | Kilometer 91.6 |
| - Querschnitt Q4: | Dämpfer Typ III (Schrey & Veit): | Kilometer 91.7 |

Wie die Begehung gezeigt hat, ist die Ausbreitungssituation an den Messquerschnitten nicht ideal, da sich teilweise Gebäudefassaden in weniger als 10 m Abstand zur Gleismitte befinden. Eine Messung mit einer Standardgeometrie von 7.5 m Abstand zur Gleismitte und 1.2 m über Schienenoberkante ist deshalb nicht bei allen Querschnitten umsetzbar. Um möglichst vergleichbare Ausbreitungssituationen zu schaffen und den Einfluss störender Reflexionen zu vermeiden, wurde deshalb eine alternative Vorgehensweise ausgearbeitet:

Die Messquerschnitte werden genau auf der Höhe von Stromleitungsmasten eingerichtet. An den Masten werden Schalungsbretter mit Abmessungen von 160 x 160 cm parallel zur Fahrtrichtung befestigt, welche als schallharte Begrenzung dienen. Die Mikrofone werden in Grenzflächenanordnung direkt auf die Schalungsbretter montiert, so dass sich eine frequenzunabhängige Pegelerhöhung um 6 dB (Schalldruckverdoppelung) ergibt. Pro Messquerschnitt wird ein Messmikrofon installiert. Das Mikrofon wird auf 70 cm über Schienenoberkante eingerichtet, um eine vergleichbare Abstrahlrichtung wie bei der Referenzgeometrie gemäss ISO 3095 zu erhalten. Die schallharten Platten werden relativ zur Mikrofonposition leicht asymmetrisch angeordnet, um allfällige Beugungseffekte an den Kanten auszugleichen, mit einem Abstand des Mikrofons zur Plattenbegrenzung von 70 cm und 90 cm, sowohl in der Horizontalen als auch in der Vertikalen.

Am ersten und letzten Messquerschnitt wird zusätzlich eine Lichtschranke installiert, um die Geschwindigkeit der Züge zu erfassen bzw. zu kontrollieren, dass die gefahrenen Geschwindigkeiten im Messbereich konstant waren.

Die Vorbeifahrtssignale werden auf Harddisk-Recordern aufgezeichnet und anschliessend analysiert. Bei der Auswertung werden die gemittelten Pegeldifferenzen mit und ohne Dämpfer in Terzen von 100 Hz bis 5 kHz für ganze Zugvorbeifahrten bestimmt. (Bei den beiden Messstellen mit Lichtschranken bestünde die Möglichkeit zu einem späteren Zeitpunkt eine separate Auswertung pro Drehgestell vorzunehmen.)

Zur Charakterisierung der Ausbreitungssituation werden zusätzlich Experimente mit einem Lautsprecher durchgeführt. Dazu wird ein Lautsprecher 0.5 m über Schienenoberkante in kürzestem Abstand zum Mikrofon auf beide Schienen des nahen Gleises platziert und mit rosa Rauschen konstanter Leistung betrieben.

Einfluss der Messdistanz auf den verwertbaren Frequenzbereich

Schalldruckmessungen von Zugsvorbeifahrten sollten grundsätzlich im akustischen Fernfeld durchgeführt werden, da sonst der Schalldruckpegel nicht dem Schallintensitätspegel entspricht. Die vorgeschlagene Messgeometrie liegt vergleichsweise nahe an der Fahrbahn. Der kürzeste Abstand zwischen Schiene und Mikrofon beträgt knapp 2.5 m. Es stellt sich deshalb die Frage bis zu welcher Frequenz die Anforderungen an das Fernfeld eingehalten sind.

Als Faustregel gilt, dass die Bedingungen an das Fernfeld eingehalten werden, wenn der Abstand grösser als eine Wellenlänge beträgt. Diese Anforderung ist im kürzesten Abstand für Frequenzen oberhalb von 136 Hz erfüllt. Somit ist sie für Terzen von 125 Hz und darunter nicht erfüllt.

Allerdings gilt es zu berücksichtigen, dass nicht nur eine Messung im kürzesten Abstand stattfindet, sondern dass eine Integration über die Vorbeifahrt erfolgt und hier auch grössere Abstände enthalten sind. Für 100 Hz bzw. 3.4 m Wellenlänge braucht es einen Aspektwinkel von 42° um auf eine Wellenlänge Abstand zu kommen. Folglich wird bei knapp der Hälfte der Vorbeifahrt das Nahfeldkriterium nicht erfüllt. Bei 125 Hz ist nur ein Winkelbereich von 2 x 23° betroffen.

Es kann somit gefolgert werden, dass die Terzbandpegel ab 160 Hz die Anforderungen vollständig erfüllen, die Terz von 125 Hz nur teilweise erfüllt und die Terz von 100 Hz höchstens für Relativbetrachtungen verwertbar ist.

3 Messdurchführung

Die Messungen wurden am 16. September 2015 ausgeführt. Vorarbeiten und Installationen wurden bereits in der Nacht vom 14. auf den 15. September sowie am Nachmittag des 15. September erledigt. Die Messungen wurden durch die SBB substantiell unterstützt. So wurden Stromgeneratoren, Beleuchtungen sowie Sicherheitswärter zur Verfügung gestellt.

Als integraler Teil der eigentlichen Messkampagne wurde seitens der SBB freundlicherweise die Erlaubnis erteilt, zusätzliche Messungen am Gleis durchführen zu dürfen, welche im Rahmen des Projektes OST¹ verwendet werden. Dabei werden bei Messquerschnitt Q1 und Q4 Beschleunigungsaufnehmer an Schienen und Schwellen angebracht und es werden Experimente mit kontrollierter Anregung mittels eines Shakers durchgeführt. Da diese Experimente einen längeren Aufenthalt im Gleisbereich bedingen, wurden die Arbeiten unmittelbar nach Durchfahrt des letzten Personenzuges auf dieser Strecke, ca. um ein Uhr nachts gestartet. Bis fünf Uhr morgens wurde der Aufbau der Messketten abgeschlossen und es wurden die Lautsprecherexperimente sowie die zusätzlichen Versuche mit Shaker-Anregung durchgeführt. Ab fünf Uhr morgens wurden Vorbeifahrtsmessungen des Regelverkehrs aufgezeichnet. Die Messungen wurden um 10:15 Uhr beendet.

Die Messungen wurden entsprechend den Vorgaben der Standard-Arbeitsanweisung der Abteilung Akustik/Lärminderung SOP 10 durchgeführt. Basierend auf den Erfahrungen in der Abteilung Akustik / Lärm bekämpfung kann die gesamte Unsicherheit der Kalibration und der elektrischen Messkette auf ± 0.5 dB im Sinne einer Standardabweichung angegeben werden. Weitere Unsicherheitsquellen wie Einflüsse bei der Messstelle oder Störgeräuscheinflüsse können aufgrund des identischen Messaufbaus und des tiefen Hintergrundgeräusches vernachlässigt werden.

In Beilage B.1 sind Photographien der Messstellen aufgeführt. Beilage B.2 zeigt die Details der Messgeometrie und Beilage B.3 enthält eine Liste der verwendeten Messgeräte.

¹ OST: Entwicklung eines Simulationstools zur Auslegung lärmarmen Gleiskonstruktionen (Auftrag BAV/Bafu).

4 Auswertung

Die Auswertung wurde mit der Signalanalyse-Software FAMOS, Version 6.1 der Firma imc durchgeführt.

Zuerst wurden die Lichtschrankensignale an den Messquerschnitten Q1 und Q4 ausgewertet, entsprechend wurden nur Vorbeifahrten auf dem nahen Gleis erfasst. Pro Vorbeifahrt wurde der Zeitpunkt der ersten und letzten Achse bestimmt. In Beilage B.4 ist in Tabelle 3 die so ermittelte Ereignisliste aufgeführt. 15 Ereignisse mit nur kleinen Abweichungen in der Ereignisdauer sind hervorgehoben. Diese Ereignisse wurden weiter ausgewertet, da hier von einer konstanten Fahrgeschwindigkeit ausgegangen werden kann. Für sämtliche Ereignisse an den vier Messstellen wurden Pegelzeit-Verläufe des L_{AF} in 0.1 s Auflösung sowie spektrale Ereignispegel L_{AE} ausgewertet. Der Auswertzeitraum umfasst jeweils ± 5 s um das erste bzw. letzte Lichtschrankensignal. Für die Querschnitte Q2 und Q3, welche keine Lichtschranke installiert hatten, wurden die gleichen Auswertzeiten wie bei Q1 und Q4 verwendet und Anfangs- und Endzeiten manuell aus dem Pegel-Zeit-Verlauf gesetzt. Tabelle 4 auf Seite 16 zeigt die ausgewerteten Ereignisse, die Ereignisdauer und –zeiten sowie die zugewiesenen Identifikationsnummern. Abbildung 1 zeigt exemplarisch einen Pegel-Zeit-Verlauf.

Die Messspektren pro Vorbeifahrt wurden im Anschluss mit den Werten am Referenzquerschnitt Q1 verglichen.

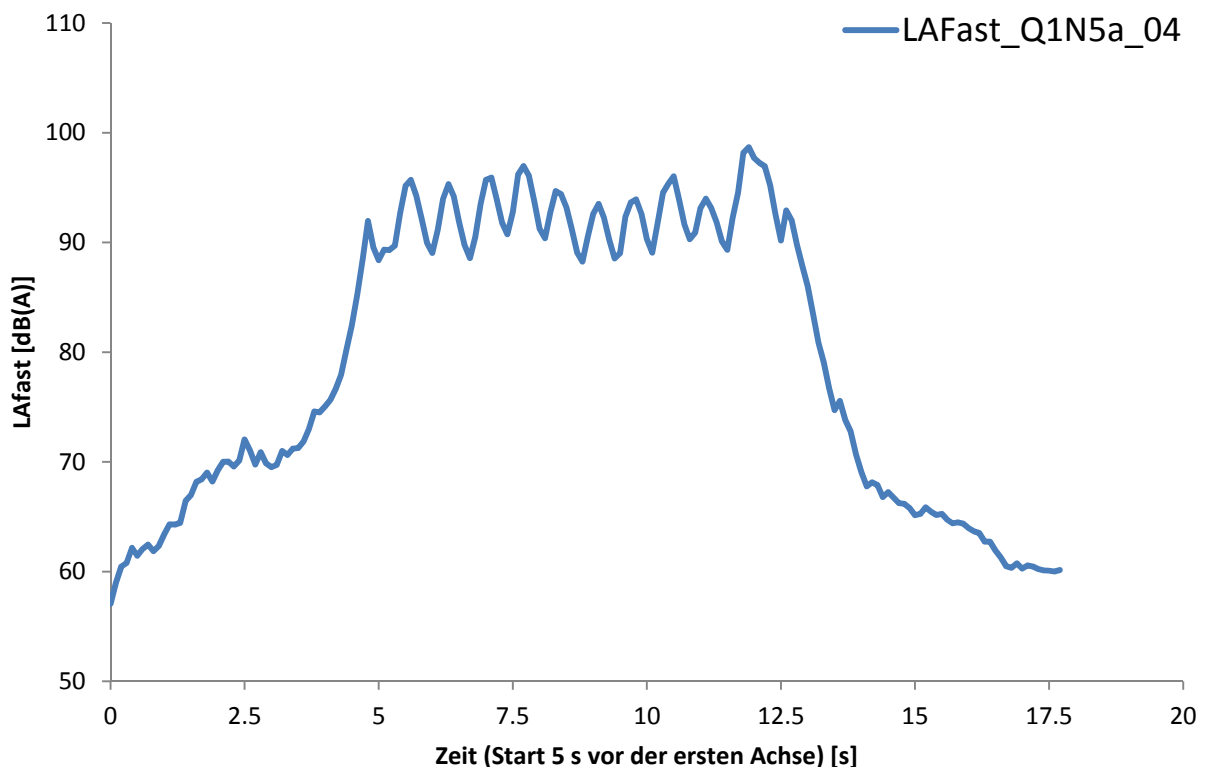


Abbildung 1: Beispiel eines Pegel-Zeit-Verlaufes.

Hinweis zu Signalübersteuerungen

Einige der Aufnahmen sind kurzzeitig übersteuert, aufgrund der Druckwelle zu Beginn der Ereignisse. Die Druckspitzen traten zum einen wegen dem kurzen Messabstand und zum anderen wegen der reflektierenden Wand im Rückraum auf. Es kann davon ausgegangen werden, dass diese Übersteuerungen für die Gültigkeit der Resultate keine Einschränkung darstellen, sofern ganze Zugvorbeifahrten betrachtet werden.

Exemplarische Kontrollen, bei welchen jeweils nur die 2. Hälfte der Vorbeifahrt ausgewertet wurde, bestätigen diese Annahme. Bei einer achsweisen Analyse sind die Ergebnisse des ersten Drehgestells jedoch nur beschränkt verwertbar.

5 Resultate

Lautsprechermessungen

Abbildung 2 zeigt die Resultate der Lautsprechermessungen. Zum Vergleich abgebildet ist eine Referenzmessung im schalltoten Raum in 1.6 m Abstand. Man sieht den erwarteten Einfluss der Bodenreflexion mit spektralen Überhöhungen und Abschwächungen. Gut zu erkennen ist, dass die Messungen an den vier Querschnitten, jeweils getrennt für die nahe und ferne Schiene, sehr schön übereinanderliegen. Es kann somit gefolgert werden, dass die Ausbreitungsbedingungen an allen vier Standorten vergleichbar sind.

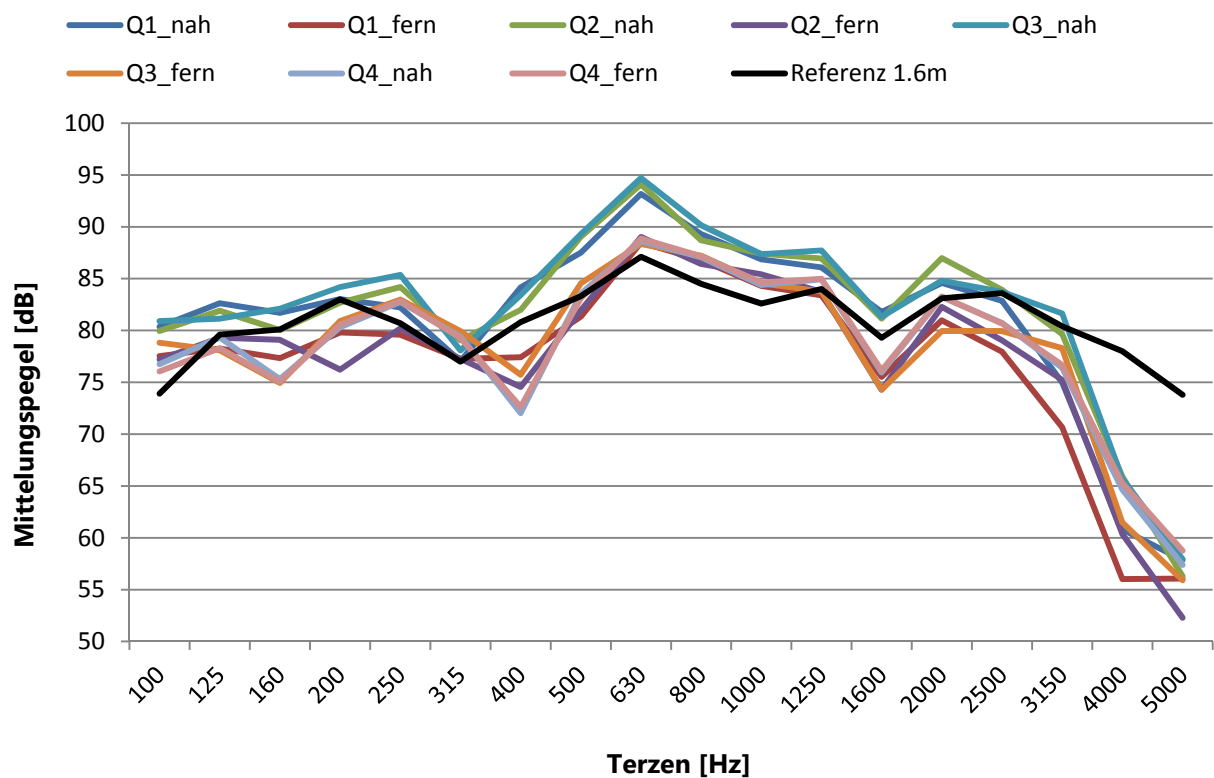


Abbildung 2: Resultate der Lautsprechermessungen aus Niederwangen.

Spektrale Analyse der Vorbeifahrtsmessungen

In Beilage B.5 sind die Ereignispegel spektral und als A-bewerteter Pegel für sämtliche ausgewerteten Vorbeifahrtsmessungen aufgeführt. Abbildung 3 zeigt die mittleren Vorbeifahrtspegel, wobei die Mittelung arithmetisch erfolgte, um allen Ereignissen ein gleiches Gewicht zu geben.

Abbildung 4 bis Abbildung 6 zeigen für die Messquerschnitte Q2 bis Q4 je eine statistische Auswertung der Pegeldifferenzen pro Ereignis und Terz relativ zu den Messwerten an Referenzquerschnitt Q1 ohne Schienendämpfer. Dargestellt sind die Resultate als Box-Whiskers-Plots mit dem Median als dickem Balken. Dem Bereich zwischen dem 25 und 75% Quantil als Box und den Extremwerten als Linie.

In Abbildung 7 sind die mittleren Pegeldifferenzen zur Referenz spektral dargestellt. Negative Zahlen weisen auf eine Pegelzunahme, positive Zahlen auf eine Pegelabnahme hin.

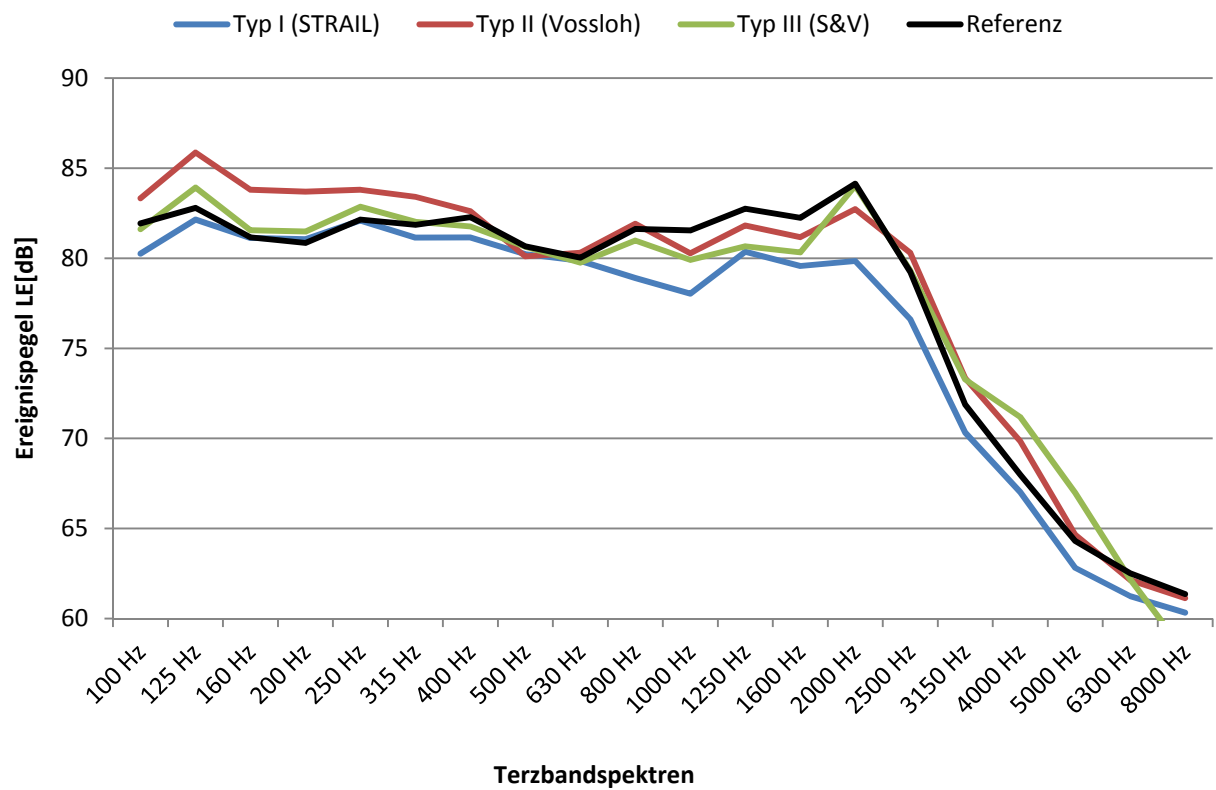


Abbildung 3: Mittlere Vorbeifahrtspegel pro Messquerschnitt.

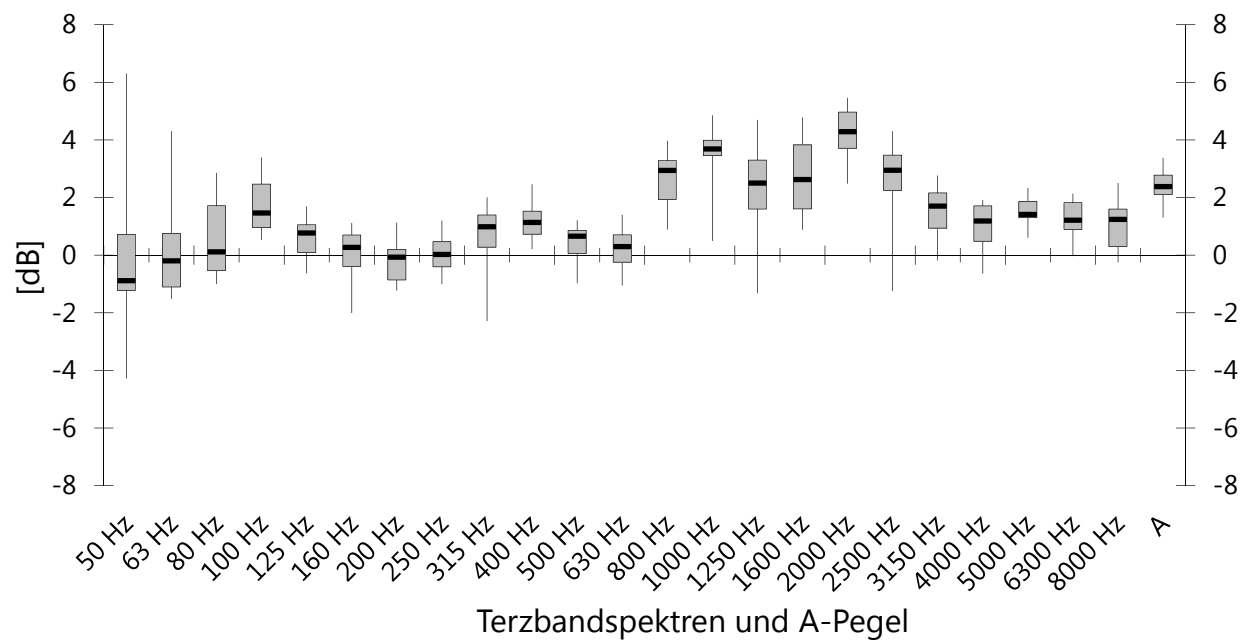


Abbildung 4: Pegelreduktion im Vergleich zur Referenz Q1: Messquerschnitt Q2, Dämpfungstyp I.

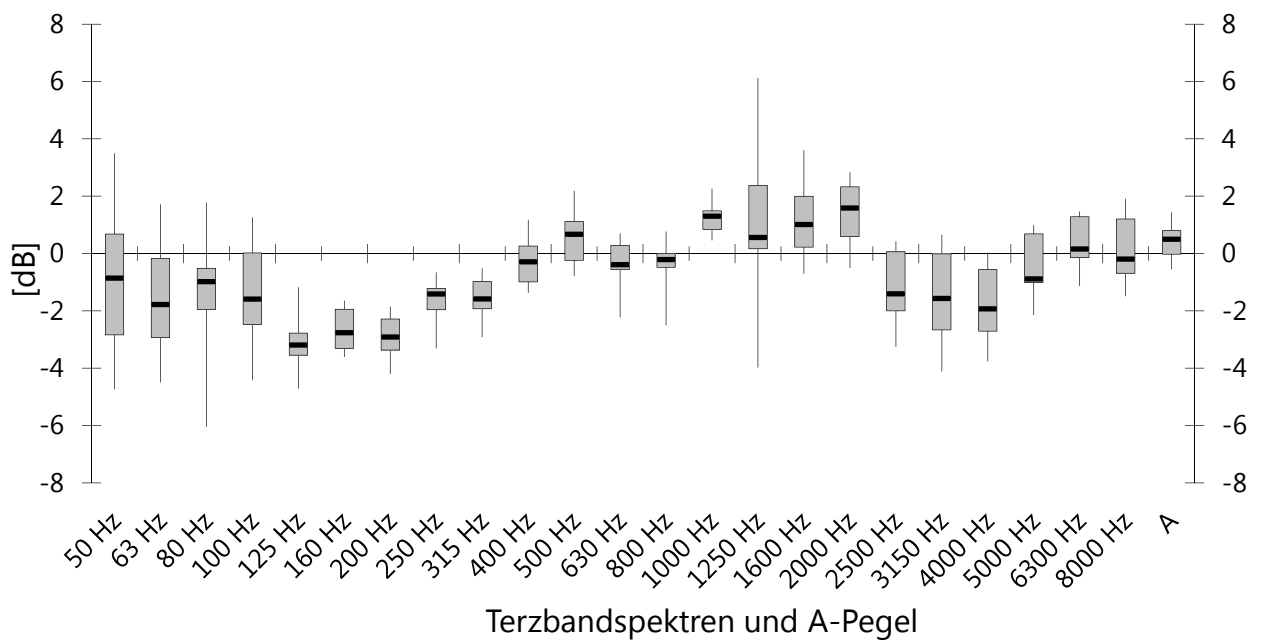


Abbildung 5: Pegelreduktion im Vergleich zur Referenz Q1: Messquerschnitt Q3, Dämpfungstyp II.

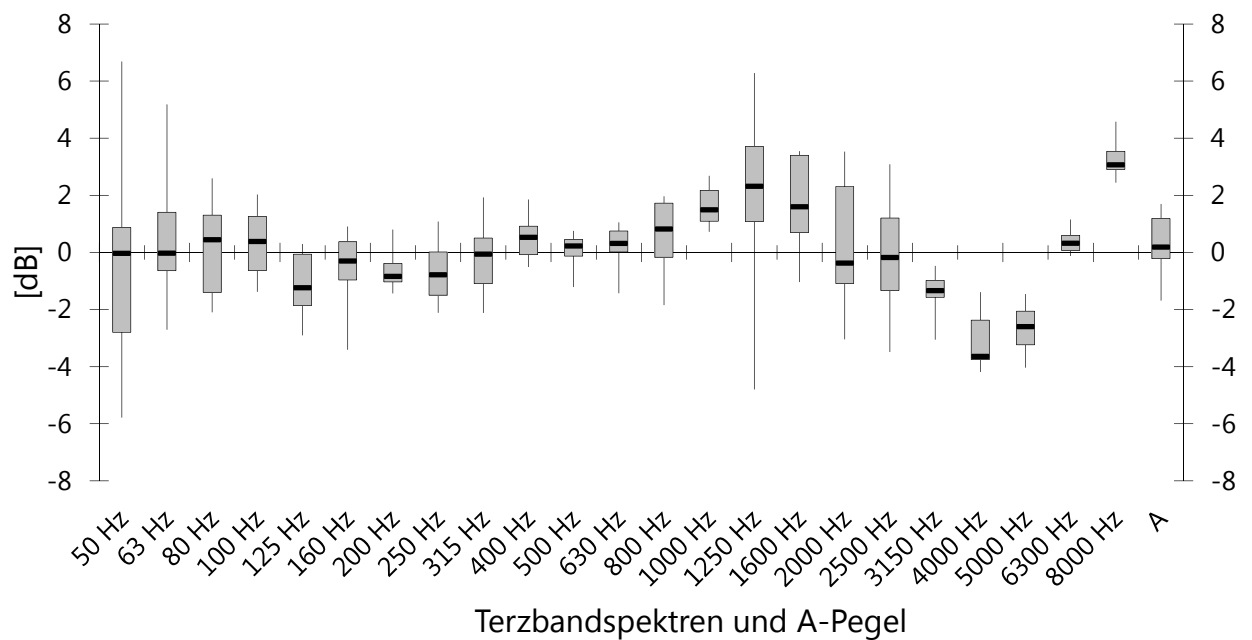


Abbildung 6: Pegelreduktion im Vergleich zur Referenz Q1: Messquerschnitt Q4, Dämpfungstyp III.

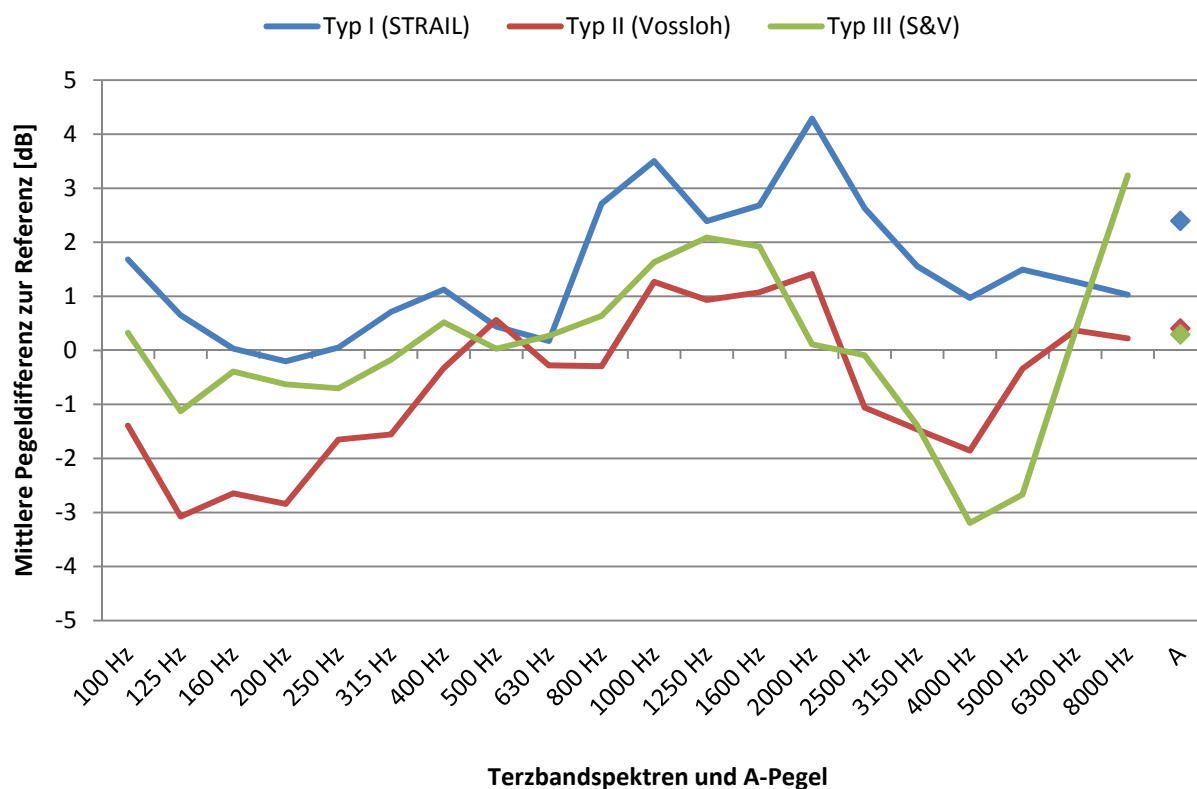


Abbildung 7: Wirkung der Schienendämpfer.

6 Diskussion

Bei Dämpfertyp I ist ein positiver Effekt im ganzen Frequenzbereich zu erkennen, was sich auch durch eine mittlere Abnahme der A-bewerteten Vorbeifahrtspegel um 2.4 dB(A) ausdrückt. Die anderen beiden Dämpfertypen zeigen nur kleine Reduktionen im A-Pegel. Eine Reduktion zeigt sich auch bei diesen beiden Typen im erwarteten Bereich zwischen 500 und 2000 Hz, in welchem die Abstrahlung der Schiene gemäss Theorie die Immissionen dominieren sollte. Die Pegelerhöhungen unterhalb von 500 Hz bzw. oberhalb von 2500 Hz lassen sich jedoch auf Anhieb nicht durch die Wirkung der Schienendämpfer erklären. Interessant in diesem Zusammenhang ist auch ein Blick auf die Streuung der Differenzen der spektralen Vorbeifahrtspegel bei einer ereignisweisen Analyse gemäss Abbildung 4 bis Abbildung 6. Die Standardabweichungen betragen zwar im A-bewertet lediglich 1.0 Dezibel oder weniger. In einzelnen Terzbändern sind die Streuungen jedoch sehr hoch und es resultieren Standardabweichungen von mehreren Dezibel. Eine mögliche Erklärung für diese Resultate ist bei einer nicht einheitlichen Anregung zu finden. So können Variationen bei den lokalen Schienenrauigkeiten das Bild verfälschen und entsprechend eine direkte Bestimmung der Dämpferwirkung verunmöglichen.

Beilagen

B.1 Fotografien



Abbildung 8: Messquerschnitt Q1 mit Blick Richtung Bahnhof Niederwangen.

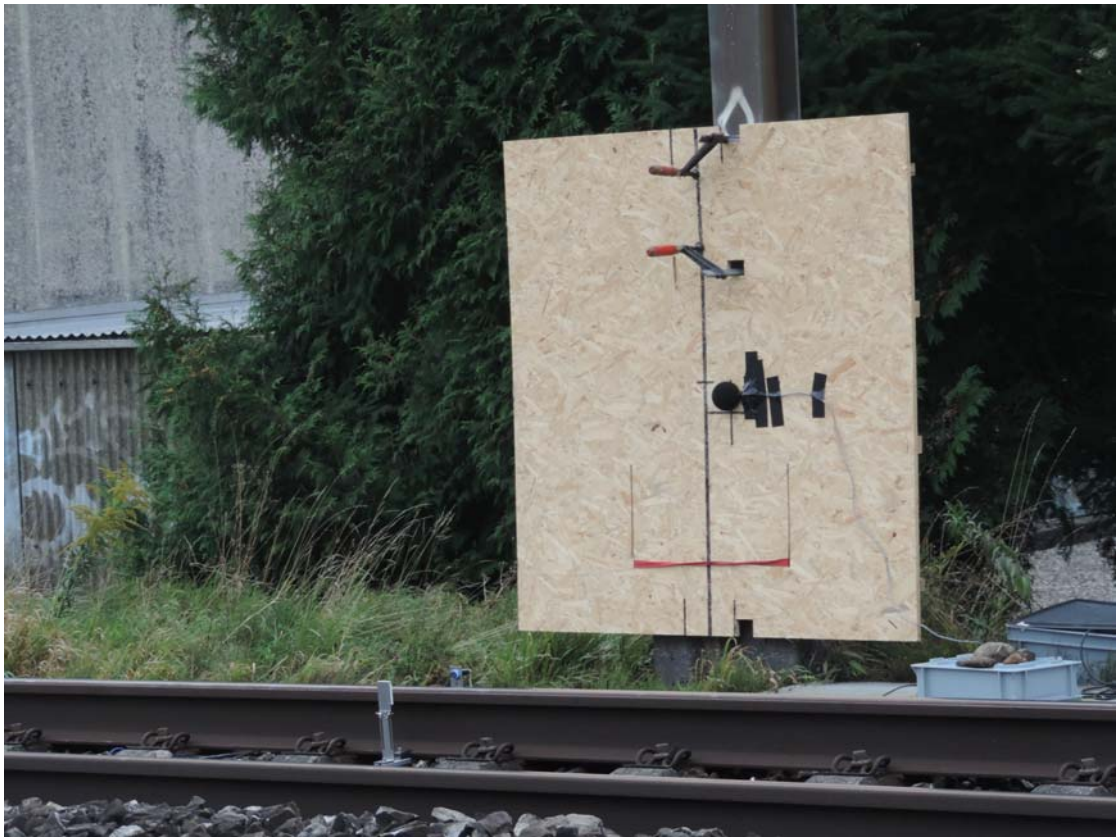


Abbildung 9: Mikofonplatzierung bei Messquerschnitt Q1. Im Vordergrund ist die Lichtschanke zu sehen.



Abbildung 10: Mikofonplatzierung bei Messquerschnitt Q2.



Abbildung 11: Mikofonplatzierung bei Messquerschnitt Q3.



Abbildung 12: Mikofonplatzierung bei Messquerschnitt Q4. Im Vordergrund ist die Lichtschranke zu sehen.

B.2 Aufnahme der Messgeometrie anlässlich der Lautsprecherversuche

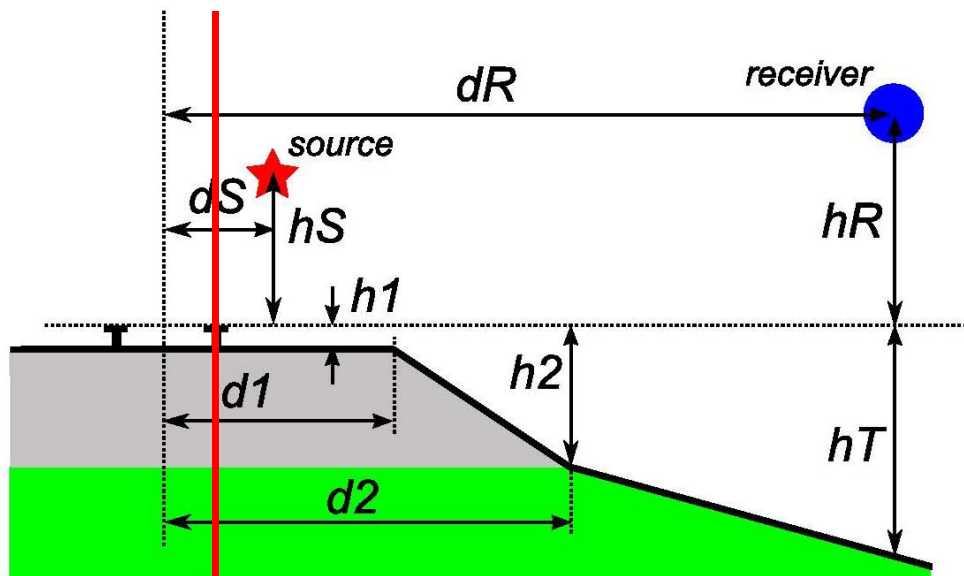


Abbildung 13: Geometrieparameter, welche zur Beschreibung der Ausbreitungssituation verwendet werden. Hinweis: Als horizontale Referenz wurde nicht die Gleismitte, sondern der Steg der nahen Schienen verwendet (markiert als rote Linie).

Projekt	StarDamp-Validation / OST		Auftrags-Nr.	5214.005465
Person	J.M. Wunderli		Datum	16.09.2015
Ort	Niederwangen			
Querschnitt	Q1	Q2	Q3	Q4
Schotterbett überhöht?	Nein	Nein	Nein	Nein
dR [m]	2.33	2.36	2.34	2.36
hR [m]	0.70	0.70	0.70	0.70
hT [m]	0.22	0.41	0.34	0.38
dS [m]	0.00	0.00	0.00	0.00
hS [m]	0.50	0.50	0.50	0.50
d1 [m]	0.70	0.75	0.70	0.70
h1 [m]	0.20	0.20	0.20	0.20
d2 [m]	1.60	1.60	1.55	1.55
h2 [m]	0.40	0.41	0.40	0.40

Tabelle 1: Zusammenstellung der im Feld protokollierten Geometrie anlässlich der Lautsprecherversuche.

B.3 Verwendete Geräte

Lautsprecherversuche:

- Quelle: NTi Audio MR Pro, Nr. 1, 20kHz, PinkNoise, Ausgangsspannung $307\text{mV}_{\text{AVG } 100\text{ms}}$
- Verstärkung: EMPA Akku-Verstärker, Nr. 2, Ausgangsspannung $11\text{V}_{\text{AVG } 100\text{ms}}$
- Lautsprecher: EMPA Giotto (EV DL10X, Omnidirectional), Nr. 1

Messquerschnitt	Schallpegelmesser	Messbereich	Harddisk-Recorder
Q1	B&K 2238, Nr. 1	30 – 110 dB	SoundDevice 744T, Nr. 31
Q2	B&K 2238, Nr. 2	30 – 110 dB	SoundDevice 702T, Nr. 24
Q3	B&K 2238, Nr. 3	30 – 110 dB	SoundDevice 744T, Nr. 33
Q4	B&K 2238, Nr. 4	30 – 110 dB	SoundDevice 744T, Nr. 32

Tabelle 2: Geräteliste.

B.4 Liste der Zugvorbeifahrten

Protokoll	Q1						Q4						
Zugstyp	ID	Start	Stopp	Dauer	Start	Stopp	ID	Start	Stopp	Dauer	Start	Stopp	ΔDauer
IC	Q1M5a_02	1766.92 s	1769.90 s	2.98 s	05:20:47	05:20:50	Q4M5_01	2278.20 s	2281.18 s	2.98 s	05:20:54	05:20:57	0.00
S-Bahn	Q1M5a_03	2232.61 s	2238.64 s	6.03 s	05:28:30	05:28:36	Q4M5_02	2749.38 s	2756.51 s	7.13 s	05:28:42	05:28:50	-1.10
IC	Q1M5a_04	2910.61 s	2918.47 s	7.86 s	05:39:42	05:39:49	Q4M5_03	3421.85 s	3429.59 s	7.74 s	05:39:48	05:39:55	0.12
S-Bahn	Q1M5a_05	3613.57 s	3617.65 s	4.08 s	05:51:17	05:51:21	Q4M5_04	4128.46 s	4133.35 s	4.89 s	05:51:27	05:51:32	-0.81
S-Bahn	Q1M5a_06	3964.39 s	3970.80 s	6.41 s	05:57:03	05:57:10	Q4M5_05	4482.53 s	4491.26 s	8.73 s	05:57:16	05:57:25	-2.32
IC	Q1M5a_07	4760.20 s	4767.89 s	7.69 s	06:10:13	06:10:21	Q4M6_01	254.36 s	262.01 s	7.66 s	06:10:47	06:10:55	0.03
Regio	Q1M5a_08	4951.87 s	4956.49 s	4.62 s	06:13:17	06:13:21	Q4M6_02	446.94 s	451.69 s	4.75 s	06:13:52	06:13:57	-0.13
S-Bahn	Q1M5a_09	5434.01 s	5437.40 s	3.39 s	06:21:14	06:21:18	Q4M6_03	929.80 s	933.78 s	3.98 s	06:21:50	06:21:54	-0.59
S-Bahn	Q1M5a_10	5798.12 s	5804.48 s	6.36 s	06:27:15	06:27:21	Q4M6_04	1301.09 s	1309.18 s	8.09 s	06:27:58	06:28:06	-1.73
IC	Q1M5a_11	6469.28 s	6477.14 s	7.86 s	06:38:20	06:38:28	Q4M6_05	1963.52 s	1971.27 s	7.75 s	06:38:52	06:39:00	0.11
S-Bahn	Q1M5b_01	59.55 s	68.80 s	9.25 s	06:52:20	06:52:29	Q4M6_06	2759.29 s	2771.69 s	12.40 s	06:52:00	06:52:12	-3.15
S-Bahn	Q1M5b_02	413.29 s	418.67 s	5.37 s	06:58:04	06:58:09	Q4M6_07	3111.32 s	3117.41 s	6.09 s	06:57:40	06:57:46	-0.72
IC	Q1M5b_03	1114.49 s	1122.38 s	7.89 s	07:09:40	07:09:48	Q4M6_08	3808.80 s	3816.55 s	7.75 s	07:09:11	07:09:19	0.14
Regio	Q1M5b_04	1392.29 s	1398.12 s	5.83 s	07:14:10	07:14:16	Q4M6_09	4089.44 s	4095.23 s	5.79 s	07:13:44	07:13:50	0.04
S-Bahn	Q1M5b_05	1995.62 s	2002.39 s	6.77 s	07:24:07	07:24:14	Q4M6_10	4691.52 s	4699.67 s	8.15 s	07:23:40	07:23:48	-1.38
S-Bahn	Q1M5b_06	2216.41 s	2221.87 s	5.46 s	07:27:41	07:27:47	Q4M6_11	4914.52 s	4920.51 s	5.99 s	07:27:15	07:27:21	-0.53
IC	Q1M5b_07	2948.21 s	2956.11 s	7.90 s	07:39:48	07:39:56	Q4M7_01	625.67 s	633.66 s	7.99 s	07:40:36	07:40:44	-0.09
S-Bahn	Q1M5b_08	3726.82 s	3734.03 s	7.21 s	07:52:38	07:52:46	Q4M7_02	1406.71 s	1416.43 s	9.72 s	07:53:29	07:53:38	-2.51
S-Bahn	Q1M5b_09	4335.66 s	4340.76 s	5.10 s	08:02:40	08:02:45	Q4M7_03	2016.16 s	2021.95 s	5.79 s	08:03:28	08:03:34	-0.69
IC	Q1M5b_10	4954.78 s	4963.57 s	8.79 s	08:12:54	08:13:03	Q4M7_04	2632.28 s	2641.10 s	8.82 s	08:13:39	08:13:48	-0.03
Regio	Q1M5b_11	5101.12 s	5105.51 s	4.39 s	08:15:12	08:15:16	Q4M7_05	2778.73 s	2783.26 s	4.53 s	08:15:56	08:16:01	-0.14
S-Bahn	Q1M5b_12	5471.31 s	5477.66 s	6.35 s	08:21:17	08:21:24	Q4M7_06	3150.03 s	3158.67 s	8.64 s	08:22:03	08:22:12	-2.29
S-Bahn	Q1M5b_13	5784.34 s	5789.36 s	5.02 s	08:26:24	08:26:29	Q4M7_07	3464.60 s	3470.07 s	5.47 s	08:27:09	08:27:15	-0.45
IC	Q1M5b_14	6628.06 s	6640.35 s	12.29 s	08:40:23	08:40:35	Q4M7_08	4306.21 s	4318.67 s	12.46 s	08:41:05	08:41:18	-0.17
S-Bahn	Q1M5c_01	117.60 s	121.60 s	4.01 s	08:53:18	08:53:22	Q4M7_09	4998.55 s	5003.42 s	4.87 s	08:52:25	08:52:30	-0.86
S-Bahn	Q1M5c_02	558.28 s	565.74 s	7.46 s	09:00:34	09:00:42	Q4M8_01	427.93 s	436.71 s	8.78 s	09:00:55	09:01:04	-1.32
IC	Q1M5c_03	1147.30 s	1154.36 s	7.06 s	09:10:16	09:10:23	Q4M8_02	1007.51 s	1014.46 s	6.95 s	09:10:26	09:10:33	0.11
Regio	Q1M5c_04	1437.43 s	1441.82 s	4.39 s	09:14:59	09:15:03	Q4M8_03	1297.99 s	1302.39 s	4.40 s	09:15:09	09:15:14	-0.01
S-Bahn	Q1M5c_05	1888.56 s	1892.56 s	4.00 s	09:22:26	09:22:30	Q4M8_04	1752.92 s	1757.95 s	5.03 s	09:22:40	09:22:45	-1.03
IC	Q1M5c_06	2203.24 s	2209.68 s	6.44 s	09:27:36	09:27:43	Q4M8_05	2071.87 s	2079.25 s	7.38 s	09:27:54	09:28:01	-0.94
S-Bahn	Q1M5c_07	2833.91 s	2935.63 s	101.72 s	09:38:01	09:39:42	Q4M8_06	2785.80 s	2796.33 s	10.53 s	09:39:40	09:39:51	91.19
S-Bahn	Q1M5c_08	3631.62 s	3635.25 s	3.63 s	09:49:37	09:49:40	Q4M8_07	3494.53 s	3499.13 s	4.60 s	09:51:18	09:51:23	-0.97
Regio	Q1M5c_09	3980.30 s	3986.11 s	5.81 s	09:55:22	09:55:27	Q4M8_08	3845.22 s	3851.63 s	6.41 s	09:57:05	09:57:11	-0.60
Regio	Q1M5c_10	4699.43 s	4705.47 s	6.04 s	10:07:15	10:07:21	Q4M8_09	4560.16 s	4566.13 s	5.97 s	10:08:53	10:08:59	0.07
	Q1M5c_11	5062.40 s	5066.64 s	4.24 s	10:13:12	10:13:16	Q4M8_10	4922.67 s	4926.99 s	4.32 s	10:14:50	10:14:54	-0.08
	Q1M5c_12	5461.17 s	5465.05 s	3.88 s	10:19:46	10:19:50	Q4M9_01	308.45 s	313.63 s	5.18 s	10:22:32	10:22:38	-1.30
	Q1M5c_13	5728.38 s	5733.98 s	5.60 s	10:24:10	10:24:15	Q4M9_02	576.82 s	584.06 s	7.24 s	10:26:56	10:27:03	-1.64
	Q1M5c_14	6750.09 s	6757.66 s	7.57 s	10:41:06	10:41:13	Q4M9_03	1593.29 s	1601.04 s	7.75 s	10:43:45	10:43:53	-0.18
	Q1M5d_01	1.45 s	4.43 s	2.99 s	10:51:21	10:51:24	Q4M9_04	2045.11 s	2048.47 s	3.36 s	10:51:09	10:51:12	-0.37
	Q1M5d_02	378.04 s	382.73 s	4.69 s	10:57:35	10:57:40	Q4M9_05	2423.81 s	2429.70 s	5.89 s	10:57:24	10:57:30	-1.20
							Q4M9_06	3140.57 s	3146.54 s	5.97 s	11:09:15	11:09:21	
							Q4M9_07	3467.01 s	3471.47 s	4.46 s	11:14:36	11:14:40	

Tabelle 3: Zusammenstellung der protokollierten Zugvorbeifahren mit den Zeitstempeln an den Messquerschnitten Q1 und Q4. Hervorgehoben sind Ereignisse mit nahezu konstanter Fahrgeschwindigkeit.

Protokoll	Q1						Q4						Q2		Q3	
Zugstyp	ID	Start	Stopp	Dauer	Start	Stopp	ID	Start	Stopp	Dauer	Start	Stopp	ID	ID		
IC	Q1N5a_02	1766.92 s	1769.90 s	2.98 s	05:20:47	05:20:50	Q4M5_01	2278.20 s	2281.18 s	2.98 s	05:20:54	05:20:57	Q2E4_01	Q3X4a_01		
IC	Q1N5a_04	2910.61 s	2918.47 s	7.86 s	05:39:42	05:39:49	Q4M5_03	3421.85 s	3429.59 s	7.74 s	05:39:48	05:39:55	Q2E4_02	Q3X4a_02		
IC	Q1N5a_07	4760.20 s	4767.89 s	7.69 s	06:10:13	06:10:21	Q4M6_01	254.36 s	262.01 s	7.66 s	06:10:47	06:10:55	Q2E4_03	Q3X4a_03		
Regio	Q1N5a_08	4951.87 s	4956.49 s	4.62 s	06:13:17	06:13:21	Q4M6_02	446.94 s	451.69 s	4.75 s	06:13:52	06:13:57	Q2E4_04	Q3X4a_04		
IC	Q1N5a_11	6469.28 s	6477.14 s	7.86 s	06:38:20	06:38:28	Q4M6_05	1963.52 s	1971.27 s	7.75 s	06:38:52	06:39:00	Q2E4_05	Q3X4a_05		
IC	Q1N5b_03	1114.49 s	1122.38 s	7.89 s	07:09:40	07:09:48	Q4M6_08	3808.80 s	3816.55 s	7.75 s	07:09:11	07:09:19	Q2E5_01	Q3X4b_01		
Regio	Q1N5b_04	1392.29 s	1398.12 s	5.83 s	07:14:10	07:14:16	Q4M6_09	4089.44 s	4095.23 s	5.79 s	07:13:44	07:13:50	Q2E5_02	Q3X4b_02		
IC	Q1N5b_07	2948.21 s	2956.11 s	7.90 s	07:39:48	07:39:56	Q4M7_01	625.67 s	633.66 s	7.99 s	07:40:36	07:40:44	Q2E5_03	Q3X4b_03		
IC	Q1N5b_10	4954.78 s	4963.57 s	8.79 s	08:12:54	08:13:03	Q4M7_04	2632.28 s	2641.10 s	8.82 s	08:13:39	08:13:48	Q2E5_04	Q3X4b_04		
Regio	Q1N5b_11	5101.12 s	5105.51 s	4.39 s	08:15:12	08:15:16	Q4M7_05	2778.73 s	2783.26 s	4.53 s	08:15:56	08:16:01	Q2E5_05	Q3X4b_05		
IC	Q1N5b_14	6628.06 s	6640.35 s	12.29 s	08:40:23	08:40:35	Q4M7_08	4306.21 s	4318.67 s	12.46 s	08:41:05	08:41:18	Q2E5_06	Q3X4c_01		
IC	Q1N5c_03	1147.30 s	1154.36 s	7.06 s	09:10:16	09:10:23	Q4M8_02	1007.51 s	1014.46 s	6.95 s	09:10:26	09:10:33	Q2E6_01	Q3X4c_02		
Regio	Q1N5c_04	1437.43 s	1441.82 s	4.39 s	09:14:59	09:15:03	Q4M8_03	1297.99 s	1302.39 s	4.40 s	09:15:09	09:15:14	Q2E6_02	Q3X4c_03		
Regio	Q1N5c_10	4699.43 s	4705.47 s	6.04 s	10:07:15	10:07:21	Q4M8_09	4560.16 s	4566.13 s	5.97 s	10:08:53	10:08:59	Q2E6_03	Q3X4c_04		
	Q1N5c_11	5062.40 s	5066.64 s	4.24 s	10:13:12	10:13:16	Q4M8_10	4922.67 s	4926.99 s	4.32 s	10:14:50	10:14:54	Q2E6_04	Q3X4c_05		

Tabelle 4: Zusammenstellung der ausgewerteten Ereignisse mit den zugewiesenen ID's pro Messquerschnitt

B.5 Spektrale Ereignispegel

ID	Q1N5a_02	Q1N5a_04	Q1N5a_07	Q1N5a_08	Q1N5a_11	Q1N5b_03	Q1N5b_04	Q1N5b_07	Q1N5b_10	Q1N5b_11	Q1N5b_14	Q1N5c_03	Q1N5c_04	Q1N5c_10	Q1N5c_11	Mittelwert
50 Hz	78.5	84.8	81.1	78.0	80.0	81.1	76.5	80.8	78.9	79.5	79.6	83.6	80.3	81.5	81.0	80.3
63 Hz	80.1	83.9	81.9	79.0	81.3	80.5	80.0	81.0	80.5	79.3	78.4	82.1	80.5	79.6	82.2	80.7
80 Hz	78.1	80.4	80.3	79.9	79.1	78.2	75.6	80.6	79.4	78.0	80.4	81.2	80.5	78.3	82.0	79.5
100 Hz	80.7	82.9	83.6	83.3	82.6	81.3	78.4	81.8	81.4	81.1	83.9	82.7	83.3	79.4	82.6	81.9
125 Hz	79.8	83.2	85.2	86.1	81.7	81.3	83.4	82.6	82.0	82.4	84.4	81.9	85.8	80.3	81.9	82.8
160 Hz	76.1	79.0	83.9	84.7	78.4	78.7	83.7	79.5	80.8	83.1	82.6	79.6	84.9	79.0	83.3	81.2
200 Hz	75.8	77.5	83.3	87.1	77.4	77.2	82.6	78.4	79.9	84.7	81.8	78.9	86.8	77.6	83.6	80.9
250 Hz	75.4	78.1	83.8	89.3	78.3	78.1	82.6	81.4	81.0	87.2	82.3	81.4	90.3	79.7	83.5	82.2
315 Hz	75.8	79.2	82.4	88.1	79.5	79.3	83.0	81.1	81.2	85.3	81.6	79.6	88.0	80.8	83.1	81.9
400 Hz	77.3	80.6	81.4	89.7	79.1	79.4	85.9	79.0	79.7	89.4	81.5	78.6	88.6	79.1	84.7	82.3
500 Hz	75.1	79.5	79.9	86.7	76.9	79.7	83.1	78.1	78.4	87.4	79.3	76.0	86.9	78.5	84.6	80.7
630 Hz	73.9	75.4	79.1	85.6	78.0	79.2	82.1	78.1	81.0	85.4	79.3	75.2	85.7	79.3	83.2	80.0
800 Hz	75.9	77.0	81.4	86.1	80.4	81.2	82.6	80.2	81.3	87.6	80.5	76.8	86.4	81.6	85.5	81.6
1000 Hz	79.8	77.4	80.3	86.7	79.2	79.6	81.6	78.9	79.2	88.3	80.0	78.1	87.5	80.2	86.4	81.5
1250 Hz	75.1	78.6	83.9	86.6	81.1	86.2	80.2	82.5	81.0	88.1	81.0	80.0	87.6	82.3	87.2	82.8
1600 Hz	75.0	80.3	84.8	83.8	83.1	84.6	78.2	82.2	81.5	85.7	82.3	81.5	85.0	81.5	84.1	82.3
2000 Hz	82.0	83.9	86.0	84.6	85.3	84.6	75.5	84.1	85.2	85.3	86.7	83.8	85.5	85.1	84.4	84.1
2500 Hz	78.0	81.2	82.3	77.9	81.5	80.7	71.7	79.7	79.7	79.6	77.5	81.4	79.8	77.4	80.1	79.2
3150 Hz	68.9	73.3	74.4	72.2	72.0	72.7	68.2	72.3	71.7	73.1	71.9	71.9	73.9	69.5	72.3	71.9
4000 Hz	64.3	69.6	71.2	68.4	67.4	67.8	64.4	68.6	68.2	68.3	68.6	69.9	69.0	65.6	68.3	68.0
5000 Hz	61.9	65.1	65.8	65.3	64.4	64.6	60.9	64.9	64.4	64.9	65.0	64.4	65.7	62.0	65.3	64.3
6300 Hz	61.5	62.7	63.7	63.5	62.2	62.7	59.7	62.6	62.5	63.3	62.8	62.0	63.9	60.8	63.7	62.5
8000 Hz	59.5	61.2	62.8	62.9	60.4	60.7	59.6	60.8	60.9	62.8	61.7	60.9	63.1	59.1	63.8	61.4
A	87.7	90.1	92.9	95.1	91.4	92.5	90.1	90.9	91.2	95.9	91.8	90.2	95.7	91.1	94.3	92.1

Tabelle 5: Spektrale Ereignispegel L_{AE} für Messquerschnitt Q1: Referenz.

ID	Q2E4_01	Q2E4_02	Q2E4_03	Q2E4_04	Q2E4_05	Q2E5_01	Q2E5_02	Q2E5_03	Q2E5_04	Q2E5_05	Q2E5_06	Q2E6_01	Q2E6_02	Q2E6_03	Q2E6_04	Mittelwert
50 Hz	80.4	78.5	82.2	78.9	84.3	77.6	75.9	80.9	82.0	80.7	78.9	80.1	81.1	81.4	82.3	80.3
63 Hz	80.2	79.6	81.2	79.7	81.2	78.7	78.1	81.4	82.0	80.4	78.6	81.3	81.9	79.8	83.3	80.5
80 Hz	79.1	77.6	79.4	79.6	79.2	76.5	76.3	78.6	79.9	79.0	78.1	81.1	80.4	78.4	81.5	79.0
100 Hz	78.9	80.1	81.2	81.8	79.4	77.9	77.9	80.3	79.6	80.3	82.9	81.8	81.9	78.6	81.5	80.3
125 Hz	79.8	81.6	84.1	85.7	80.3	79.6	82.8	81.9	81.0	83.0	84.1	81.0	86.1	79.4	81.8	82.2
160 Hz	78.1	78.3	82.7	85.0	78.0	78.2	83.8	79.0	81.8	82.8	82.4	78.8	85.9	78.3	83.6	81.1
200 Hz	75.7	76.9	83.7	88.1	77.7	76.0	83.8	79.2	80.9	85.6	81.6	78.6	86.7	77.7	83.7	81.1
250 Hz	75.1	78.1	83.4	89.1	77.8	78.4	83.6	81.5	81.4	86.0	83.0	81.0	90.4	78.6	84.2	82.1
315 Hz	76.5	77.2	81.0	87.3	78.3	77.9	83.0	79.9	79.6	85.0	81.0	78.6	87.2	79.3	85.4	81.1
400 Hz	77.1	79.8	80.9	87.3	77.8	78.0	84.4	78.1	78.2	87.6	80.3	77.9	87.5	78.3	84.3	81.2
500 Hz	76.1	78.8	80.3	85.9	76.2	79.1	82.7	77.7	77.9	86.2	78.6	74.9	86.8	78.7	83.7	80.2
630 Hz	74.1	74.7	78.7	85.7	77.4	78.9	82.7	77.5	82.1	85.6	78.5	74.5	85.9	77.9	83.8	79.9
800 Hz	75.0	73.8	77.6	84.2	77.1	77.2	81.2	77.3	79.5	84.5	77.9	74.2	83.6	78.3	82.4	78.9
1000 Hz	79.3	73.4	76.6	83.2	75.6	75.8	78.9	75.4	75.0	84.1	76.1	73.2	83.8	77.4	82.6	78.0
1250 Hz	72.9	76.7	81.1	82.5	78.6	84.5	76.9	81.6	79.4	83.4	78.1	78.6	83.7	83.7	83.9	80.4
1600 Hz	73.4	78.8	82.2	80.0	80.8	83.6	75.2	80.3	78.6	80.9	78.5	80.6	81.0	79.3	80.3	79.6
2000 Hz	78.6	80.2	80.7	80.6	81.6	79.7	73.1	80.2	80.3	79.9	81.3	79.0	81.2	81.5	79.9	79.8
2500 Hz	75.8	78.8	78.4	75.6	78.4	77.8	70.5	77.7	76.5	76.2	74.5	77.1	77.2	78.7	76.2	76.6
3150 Hz	68.9	72.0	73.2	71.3	70.1	70.6	67.2	70.6	69.6	70.6	69.1	70.3	71.7	69.7	69.9	70.3
4000 Hz	64.9	69.1	71.0	68.0	66.2	66.4	63.8	68.0	67.0	66.6	66.7	69.3	67.3	64.5	66.4	67.0
5000 Hz	61.1	63.7	64.4	64.7	62.7	62.2	59.5	63.5	63.1	63.1	62.8	63.1	64.2	60.9	63.4	62.8
6300 Hz	59.7	60.6	61.6	62.5	60.2	60.9	58.5	61.2	61.2	62.4	61.6	61.3	63.0	60.9	63.2	61.2
8000 Hz	58.1	58.6	60.8	62.1	58.8	59.1	59.4	59.5	59.6	62.1	60.4	60.6	63.1	59.4	63.3	60.3
A	86.1	87.7	89.9	92.8	88.7	90.3	88.8	88.8	88.7	92.8	88.4	87.6	93.3	89.7	91.6	89.7

Tabelle 6: Spektrale Ereignispegel L_{AE} für Messquerschnitt Q2: Dämpfungstyp I.

ID	Q3X4a_01	Q3X4a_02	Q3X4a_03	Q3X4a_04	Q3X4a_05	Q3X4b_01	Q3X4b_02	Q3X4b_03	Q3X4b_04	Q3X4b_05	Q3X4c_01	Q3X4c_02	Q3X4c_03	Q3X4c_04	Q3X4c_05	Mittelwert
50 Hz	77.8	81.3	82.4	80.4	77.3	80.7	76.4	78.6	83.6	82.6	80.0	88.0	81.1	84.3	83.7	81.2
63 Hz	81.1	82.2	83.9	80.9	81.0	81.9	80.1	80.9	82.3	82.3	81.4	85.4	82.5	84.1	83.5	82.2
80 Hz	78.6	80.7	82.9	80.9	79.1	79.4	76.6	78.8	80.9	81.1	81.3	87.3	81.4	80.2	83.9	80.9
100 Hz	81.2	82.6	85.2	85.3	81.3	81.0	80.2	81.8	81.5	84.3	86.1	87.1	84.8	82.6	85.1	83.3
125 Hz	83.0	85.3	88.1	88.9	82.8	83.4	86.7	85.4	85.0	85.9	88.0	85.5	90.5	84.1	85.5	85.9
160 Hz	79.3	82.0	86.0	88.2	80.1	80.3	85.5	81.7	83.9	85.9	85.1	82.9	88.6	82.5	85.2	83.8
200 Hz	78.1	80.0	86.4	90.1	79.4	79.6	84.9	81.8	83.4	87.7	83.9	82.8	88.7	81.8	86.7	83.7
250 Hz	76.8	79.4	85.7	90.5	79.2	79.6	85.2	82.7	82.5	88.6	84.2	84.4	91.1	80.4	86.8	83.8
315 Hz	77.3	79.9	84.3	89.8	80.4	80.5	84.4	82.0	83.0	86.9	83.2	81.9	90.0	81.3	86.1	83.4
400 Hz	77.4	81.6	82.4	88.5	78.8	80.3	85.2	79.9	80.0	88.8	81.8	80.0	89.6	80.3	84.5	82.6
500 Hz	75.5	79.4	80.6	85.5	75.6	78.8	82.4	77.7	78.7	85.2	78.8	76.3	85.7	77.8	83.6	80.1
630 Hz	74.7	75.8	79.9	84.9	77.8	79.7	81.9	78.6	81.5	85.8	79.4	77.4	85.0	78.8	83.4	80.3
800 Hz	76.8	77.2	81.7	86.3	80.4	81.5	83.1	80.3	80.6	87.4	80.8	79.3	86.6	80.9	86.0	81.9
1000 Hz	79.3	76.0	78.8	84.6	78.7	78.5	80.4	77.8	77.9	86.0	79.1	76.0	86.1	79.8	85.0	80.3
1250 Hz	74.7	78.4	81.5	85.8	80.9	80.1	79.9	79.0	81.2	87.5	82.0	76.8	86.9	86.3	86.0	81.8
1600 Hz	74.6	80.0	82.3	83.3	82.5	81.7	78.3	80.2	80.5	84.5	82.5	77.9	84.0	82.2	83.1	81.2
2000 Hz	81.4	84.0	84.4	83.4	84.9	83.8	76.1	82.7	82.8	83.0	84.4	81.8	83.8	82.2	82.1	82.7
2500 Hz	78.1	83.4	82.5	80.2	83.0	82.5	75.0	80.6	79.3	81.1	77.4	81.0	81.2	79.4	79.7	80.3
3150 Hz	71.1	74.1	75.3	76.3	73.6	73.3	71.2	72.2	71.5	76.3	71.9	71.3	76.1	72.1	74.1	73.3
4000 Hz	67.7	71.4	73.3	72.2	69.7	69.7	67.1	69.0	68.2	71.8	69.2	70.3	71.7	66.7	69.7	69.8
5000 Hz	62.8	66.1	66.7	67.4	65.5	65.0	61.8	64.2	63.4	66.1	64.0	63.5	66.6	61.6	65.0	64.7
6300 Hz	60.2	61.4	62.2	63.4	61.1	61.4	58.7	62.8	62.5	64.5	62.5	61.8	64.9	61.0	63.9	62.1
8000 Hz	57.6	59.8	61.1	62.0	59.5	59.5	58.5	61.5	61.5	64.3	62.1	61.4	64.2	60.0	64.0	61.1
A	87.7	90.6	92.1	94.7	91.5	91.1	90.2	90.0	90.5	95.2	91.3	89.3	95.4	91.6	93.7	91.7

Tabelle 7: Spektrale Ereignispegel L_{AE} für Messquerschnitt Q3: Dämpfungstyp II.

ID	Q4M5_01	Q4M5_03	Q4M6_01	Q4M6_02	Q4M6_05	Q4M6_08	Q4M6_09	Q4M7_01	Q4M7_04	Q4M7_05	Q4M7_08	Q4M8_02	Q4M8_03	Q4M8_09	Q4M8_10		
																	Mittelwert
50 Hz	81.6	78.1	80.4	77.4	85.8	82.4	78.0	84.1	81.6	79.6	79.6	82.7	80.5	80.5	79.8		80.8
63 Hz	79.1	78.7	80.5	80.5	84.0	81.0	78.3	82.7	80.6	78.2	78.8	82.1	81.1	79.6	79.3		80.3
80 Hz	78.6	78.3	79.3	81.3	81.2	79.6	77.3	80.2	78.7	76.9	77.8	81.4	80.9	76.7	80.7		79.3
100 Hz	80.4	81.3	83.1	83.8	82.2	80.2	79.8	80.5	79.6	81.3	84.6	82.4	84.4	77.4	83.2		81.6
125 Hz	81.6	83.8	87.0	88.0	82.6	81.0	85.6	83.1	82.0	84.1	86.1	81.8	88.7	80.4	83.1		83.9
160 Hz	79.5	78.9	84.2	85.8	77.7	77.8	84.1	79.9	80.8	84.1	83.1	78.9	86.5	78.7	83.4		81.6
200 Hz	75.0	77.9	83.9	88.0	78.2	77.9	83.6	79.7	80.9	86.1	82.2	78.4	86.7	78.7	85.1		81.5
250 Hz	76.7	78.6	83.9	91.0	78.2	79.6	84.7	82.1	80.6	87.5	83.3	82.4	90.2	78.7	85.4		82.9
315 Hz	77.9	77.2	82.6	89.2	78.3	79.3	83.6	80.7	80.7	86.8	81.2	79.7	88.7	80.0	84.6		82.0
400 Hz	77.4	81.1	80.6	87.9	77.5	79.2	84.3	78.1	79.7	88.9	81.2	79.0	88.0	79.5	84.1		81.8
500 Hz	75.7	79.6	80.8	86.8	76.7	79.3	83.2	78.1	79.6	87.0	78.8	75.7	86.6	78.0	83.8		80.6
630 Hz	73.6	74.5	79.1	84.8	77.2	78.8	81.8	77.8	81.2	85.5	78.7	76.6	85.3	78.3	83.2		79.8
800 Hz	76.1	75.1	80.6	86.0	78.7	79.6	82.7	78.4	80.4	86.6	80.0	78.6	86.9	79.7	85.4		81.0
1000 Hz	79.0	75.2	79.1	84.8	78.1	78.2	80.9	77.4	77.0	85.8	78.8	75.4	85.3	79.2	84.5		79.9
1250 Hz	74.0	76.4	80.2	84.0	79.1	80.0	78.6	77.8	81.0	85.4	81.2	75.4	85.2	87.1	84.5		80.7
1600 Hz	74.3	79.1	81.4	80.8	81.6	81.1	76.6	80.6	81.3	82.3	83.4	78.0	81.5	82.0	81.0		80.3
2000 Hz	82.0	87.0	86.8	82.0	86.3	85.6	73.8	86.0	86.2	81.8	87.0	85.3	83.2	85.5	82.0		84.0
2500 Hz	77.0	84.7	82.9	75.8	82.8	83.1	71.9	80.8	79.5	77.4	76.9	82.4	78.6	79.2	77.0		79.3
3150 Hz	70.4	74.7	75.5	73.2	73.5	73.6	70.5	73.3	72.8	74.0	73.6	73.3	75.3	72.5	72.7		73.3
4000 Hz	68.4	73.8	74.5	70.4	71.2	71.5	66.9	72.3	72.0	70.7	72.0	73.8	71.2	69.4	69.7		71.2
5000 Hz	64.2	69.1	68.8	67.5	67.9	67.8	63.5	67.8	67.0	66.6	67.0	68.3	67.7	64.7	66.8		67.0
6300 Hz	61.4	62.6	63.0	63.2	62.2	62.5	59.8	62.2	62.5	62.5	62.4	61.7	63.3	60.7	62.6		62.2
8000 Hz	57.0	58.2	59.1	59.5	57.6	57.8	56.9	57.8	57.9	59.1	58.3	57.9	59.9	55.6	59.2		58.1
A	87.5	91.7	92.4	93.9	91.5	91.4	89.6	90.9	91.5	94.2	92.0	90.4	94.5	92.3	92.7		91.8

Tabelle 8: Spektrale Ereignispegel L_{AE} für Messquerschnitt Q4: Dämpfungstyp III.