

Müller-BBM Schweiz AG
Bahnhofstrasse 48
4132 Muttenz

Telefon +41 (61) 690 26 00
Telefax +41 (61) 690 26 09

www.MuellerBBM.ch

Guido Kneib, Dr. rer.nat. Geophysik
Telefon +41(61)69026 03
Guido.Kneib@mbbm.com

03.Oktober 2018
C90372/01 KNB/KNB

Bestimmung der Schienenab- klingrate zwischen Oberkirch und Nottwil

Bericht Nr. C90372/01

Auftraggeber:	infraMT GmbH Herr Marc Meier Hauptstrasse 16 2577 Finsterhennen
Bearbeitet von:	Guido Kneib, Dr. rer. nat.
Berichtsdatum:	03. Oktober 2018
Prüfdatum:	15. August 2018
Berichtsumfang:	Insgesamt 14 Seiten davon 9 Seiten Textteil 5 Seiten Anhang

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung und Fazit	3
1 Situation und Aufgabenstellung	4
2 Literatur	4
3 Messabschnitt	4
4 Messungen	5
4.1 Messzeit, Messort und Personal	5
4.2 Umgebungsbedingungen	6
4.3 Messgeräte	6
4.4 Messpunkte	6
4.5 Durchführung der Messungen	6
4.6 Auswertung	7
5 Ergebnisse der Abklingratenmessung und Beurteilung	8

Anhang A: Messpunktanordnung und Ergebnistabellen

Zusammenfassung und Fazit

Die Messungen der Schienenabklingrate auf dem östlichen Gleis zwischen Oberkirch und Nottwil am 15. August 2018 zeigen zwischen den drei untersuchten Abschnitten mit unterschiedlichen Zwischenlagen teilweise deutliche Unterschiede im Abklingverhalten.

Das beste Abklingverhalten der drei Abschnitte zeigt der Abschnitt M1, der allerdings die Vorgaben für ein Referenzgleis nach TSI [2][3] oberhalb von 1600 Hz bis 4000 Hz nicht durchgängig bzw. nur knapp einhalten kann. Die vertikalen Schwingungen werden im für die Luftschallentwicklung besonders wichtigen Frequenzbereich von 800 Hz bis 2500 Hz gut gedämpft.

Die Abschnitte M2 und M3 weisen einander recht ähnliches Abklingverhalten auf, signifikante Unterschiede zwischen den jeweils verbauten Zwischenlagen lassen sich in Bezug auf die Gleisabklingraten aus den Messresultaten nicht herauslesen, wobei die Messungen im Vergleich zur TSI-Grenzkurve [2][3] jeweils insgesamt deutlich zu niedrige Abklingraten nachwiesen. Insbesondere die vertikalen Abklingraten zwischen 400 Hz und 3000 Hz sind deutlich niedriger als die Werte der Grenzkurve. Der Abschnitt M2 scheidet geringfügig besser ab. Die horizontalen Schwingungen auf Abschnitten M2 und M3 werden fast so gut gedämpft, wie es die Grenzkurve vorsieht, im Bereich zwischen 1250 Hz bis 3000 Hz wird aber auch diese Kurve signifikant unterschritten. Die geprüften Gleisabschnitte M2 und M3 erfüllen damit die Anforderungen eines Referenzgleises gemäss TSI HS RST 2008/232/EG [2][3] in Bezug auf die Gleisabklingrate nicht.

Die ermittelten Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die in der Messnacht angetroffenen Verhältnisse.

Dieser Bericht darf nur in seiner Gesamtheit – einschliesslich aller Anlagen – vervielfältigt, gezeigt oder veröffentlicht werden. Die Veröffentlichung von Auszügen bedarf der vorherigen schriftlichen Genehmigung durch die Müller-BBM Schweiz AG.



Guido Kneib

1 Situation und Aufgabenstellung

Im Rahmen von Untersuchungen der Lebenszykluskosten (Life Cycle Costing, LCC) von Schienenzwischenlagen wurden in der Zentralschweiz zwischen Oberkirch und Nottwil an drei benachbarten Gleisabschnitten drei verschiedene Typen von Schienenzwischenlagen eingebaut.

Diese Zwischenlagen beeinflussen das Abklingverhalten der Schienen. Für jeden Streckenabschnitt mit gleichen Zwischenlagen waren die vertikalen und horizontalen Schienenabklingraten (track decay rate, TDR) gemäss DIN EN 15461 [1] zu ermitteln.

2 Literatur

- [1] DIN EN 15461, Bahnanwendungen: Schallemission – Charakterisierung der dynamischen Eigenschaften von Gleisabschnitten für Vorbeifahrtgeräuschmessungen, Januar 2011.
- [2] Technische Spezifikation für die Interoperabilität (TSI) zum Teilsystem „Fahrzeuge – Lärm“ des konventionellen transeuropäischen Bahnsystems (1304/2014).
- [3] DIN EN ISO 3095, Akustik – Bahnanwendungen – Messung der Geräuschemission von spurgebundenen Fahrzeugen, Juli 2014.

3 Messabschnitt

Die Messungen der Schienenabklingrate erfolgten in der Zentralschweiz auf dem östlichen Gleis der Bahnstrecke zwischen Oberkirch (LU) und Nottwil (LU) auf Höhe des Sempacher Sees (Abbildung 1). Die Schienen lagerten auf einem Schottergleisbett und Betonschwellen vom Typ B91 60E1.



Abbildung 1. Untersuchter Streckenabschnitt mit ungefährem Messbereich markiert in Rot.



Abbildung 2. Untersucher Streckenabschnitt während der Messung.

Auf dieser Strecke wurde an drei Abschnitten je ein spezifischer Typ von Zwischenlagen eingebaut. Die genauen Kilometrierungen findet sich in Tabelle 1.

Tabelle 1. Angaben zu den Streckenabschnitten.

Abschnitt mit einer spezifischen Zwischenlage	Streckenkilometer, km	Messpunkt bei Streckenkilometer, km
M1 (schwarz markiert)	72.128 – 72.344	72.288
M2 (gelb markiert)	72.344 – 72.560	72.490
M3 (grün markiert)	72.560 – 72.776	72.666

4 Messungen

4.1 Messzeit, Messort und Personal

Die Messungen erfolgten in der Nacht vom 14. auf den 15. August 2018 und wurden von den Müller-BBM Mitarbeitern Guido Kneib und Sem Zimmermann durchgeführt und von einem Mitarbeiter des SBB Sicherheitsdienstes abgesichert. Während der ersten Phase der Messungen waren auch die Herren Marc Meier und Giuliano Soldati von infraMT (Auftraggeber) und Patrick Vetter von der Schubarth + Co AG (Liefere-

rant der Zwischenlagen) und Philippe Schneider von der TÜV Rheinland Schweiz GmbH zugegen.

4.2 Umgebungsbedingungen

Die Messungen zur Bestimmung der Abklingrate wurden bei trockener Witterung durchgeführt. Die Schienentemperatur lag während der Messungen zwischen 12°C und 15°C, die Lufttemperatur zwischen 13°C und 15°C.

4.3 Messgeräte

Die verwendeten und nachfolgend in Tabelle 2 aufgeführten Messgeräte wurden vor und nach den Messungen auf ihre einwandfreie Funktion überprüft. Im Rahmen des hauseigenen Qualitätssicherungssystems werden die Geräte zusätzlich in regelmäßigen Abständen kalibriert und kontrolliert. Die Messwerterfassung erfolgte mit einem Mehrkanalmesssystem der Firma Mecalc, Typ MK-II. Das System war mit den aufgeführten Komponenten bestückt.

Tabelle 2. Verwendete Messgeräte.

Beschreibung	Hersteller	Typ	Serien-/ Versionsnummer	Datum letzter Kalibrierung
Vielkanal-Messgerät MKII	Mecalc	PQ12	0511M2944	-
		SC427	0212M8824	30.03.2018
		ICP429	0511M3101	30.03.2018
Mess- und Auswerteprogramm PAK	M-BBM VAS	5.9	SR 2a	-
Beschleunigungsaufnehmer	BBN	507-01	158	01.06.2018
Impulshammer (Stahlspitze)	B&K	8202	1461449	23.06.2018

4.4 Messpunkte

Der Startpunkt (Messpunkt „0“) der Messreihen befand sich auf Höhe der Streckenkilometer die in Tabelle 1 rechts angegeben sind. Die Nullpunkte wurden so gewählt, dass sie zum einen in etwa in der Mitte des jeweiligen Streckenabschnitts lagen und zum anderen möglichst weit von Schweissnähten entfernt. Entlang der Messprofile traten keine Schweissnähte auf. Die 29 Messpunkte der Messreihen für die vertikale und horizontale Messrichtung entsprechend DIN EN 15461 [1] wurden an beiden Schienen des östlichen Gleises eingerichtet.

4.5 Durchführung der Messungen

Es wurde zunächst jeder Messabschnitt hinsichtlich seiner Eignung zur Durchführung der Messungen visuell inspiziert und der zu untersuchende Messabschnitt festgelegt. Der Beschleunigungssensor wurde mittels eines Magneten an der Schiene befestigt. Der Sensor wurde vertikal am Schienenkopf angebracht, horizontal auf der Aussen-

seite des Schienenkopfs (Abbildung 3). Als Signalgeber fungiert ein Prüfhammer in welchen ein Kraftsensor integriert ist.



Abbildung 3. Messung der Schienenabklingrate vertikal (links) und horizontal (rechts).

Das Beschleunigungssignal wurde zusammen mit dem Kraftsignal des Prüfhammers in das Messsystem eingespeist. An jedem Messpunkt wurden mindestens vier gültige Einzelmessungen (Hammerschläge) durchgeführt. Während der Messungen wurde die Kohärenz der Signale überwacht. Bei nicht ausreichender Kohärenz wurden die Einzelmessungen wiederholt.

Vor der Messung der Abklingrate wurde jeweils eine Konsistenzprüfung in vertikaler Messrichtung durch den Vergleich der Übertragungsfunktionen im 0ten Schwellenfach (Startpunkt, Position 0) mit zwei Punktübertragungsfunktionen im Abstand von je einem Viertel des Schwellenabstands in beide Richtungen (-1 und +1) durchgeführt. Ein Vergleich der Punktübertragungsfunktionen (Punktakzeleranzen) für die Punkte 0, -1, und +1 ergab, dass sich diese nur gering voneinander unterscheiden. Der vorgesehene Messort war damit prinzipiell zur Durchführung der Abklingratenmessung geeignet. Als Referenzpunkt für die Abklingratenmessung wurde jeweils der Punkt 0 gewählt.

4.6 Auswertung

Die Auswertung der aufgenommenen Mesdaten erfolgte mit der Software PAK 5.9 SR 2a (Müller-BBM VibroAkustik Systeme GmbH).

Die aufgezeichneten Beschleunigungs- und Kraftsignale wurden in Schmalbandspektren im Frequenzbereich von 0 bis 6400 Hz bei 4 Hz Auflösung fouriertransformiert. Aus den Schmalbandspektren wurde die Übertragungsfunktion (Akzeleranz [m/Ns^{-2}]) bestimmt.

Die Zeitsignale, deren Schmalbandspektren sowie die Übertragungsfunktionen und die Kohärenz der Signale wurden gemittelt und abgespeichert.

Aus den gemittelten schmalbandigen Übertragungsfunktionen wurden Terzspektren bestimmt. Damit wurde nach [1] und unter Berücksichtigung der Messpunktgeometrie die Abklingrate in dB/m errechnet und der Grenzkurve aus [2][3] gegenübergestellt.

5 Ergebnisse der Abklingratenmessung und Beurteilung

Die Abbildungen 4 bis 6 zeigen die Terzspektren der Abklingraten in vertikaler (linke Teilabbildungen) und horizontaler (rechte Teilabbildungen) Richtung für beide Schienen. Die östlich gelegene Schiene wird in roter Farbe dargestellt, die westlich gelegene in blau. In schwarzer Farbe sind die Grenzkurven für vertikale, bzw. horizontale Abklingraten aus der internationalen Norm [2][3] geplottet. Im Anhang A sind die gemessenen Abklingraten tabellarisch dargestellt.

Auf dem Abschnitt M1 liegen die vertikalen und horizontalen Abklingraten weit überwiegend oberhalb der Grenzkurven, d.h. die Schienen erfüllen die Vorgaben der Norm über einen breiten Frequenzbereich, allerdings unterschreitet die westliche Schiene bei 2500 Hz die Grenzkurve um einen signifikanten Betrag.

Die Ergebnisse von den Abschnitten M2 und M3 zeigen recht ähnliche Kurvenverläufe. Nur in den Terzbändern unterhalb von 400 Hz und oberhalb von 3150 Hz werden die Grenzkurven für die vertikale Schienenschwingung eingehalten, dabei ist tendenziell die dämpfende Wirkung auf dem Abschnitt M2 etwas besser als auf M3. Die horizontalen Abklingraten werden auf M2 und M3 nur in den Terzen von 630 Hz bis 1250 Hz überschritten und in den Terzen 3150 Hz und 4000 Hz. Bei Frequenzen unterhalb von 630 Hz verlaufen die horizontalen Abklingratenkurven in etwa parallel zur Grenzkurve aber meist unterhalb.

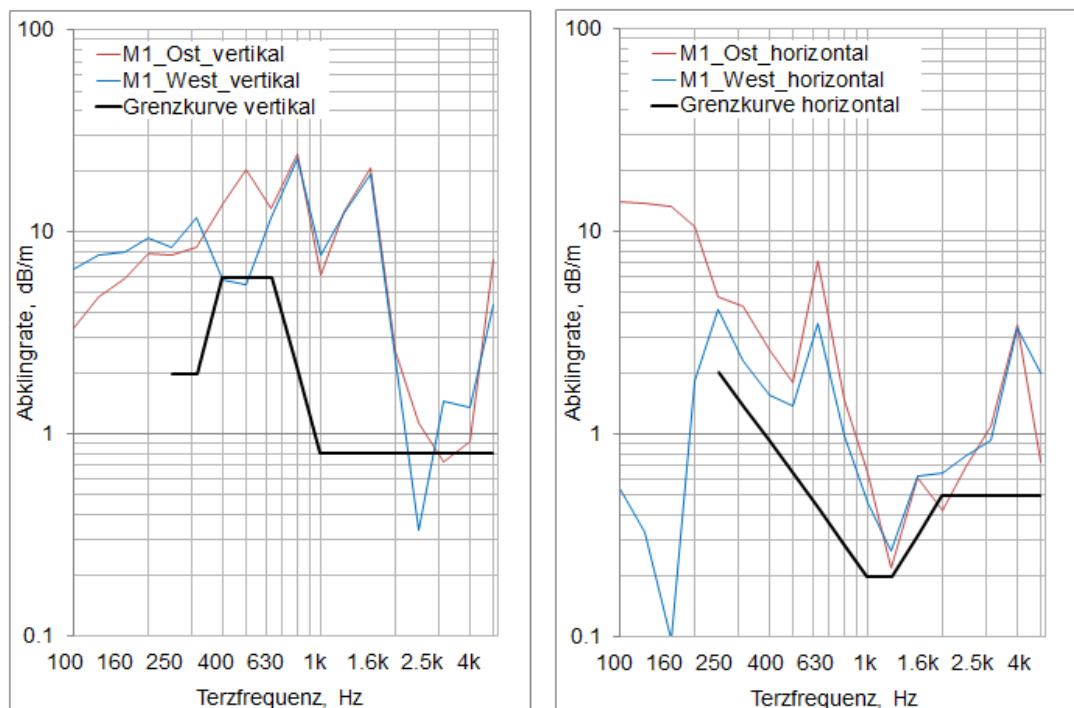


Abbildung 4. Gleisabklingraten des Streckenabschnitts M1 mit vertikaler Abklingrate (links) und horizontaler Abklingrate (rechts). Die Abklingrate der östlichen Schiene ist rot, die der westlichen blau dargestellt und schwarz jeweils die Grenzkurven gemäss TSI [2].

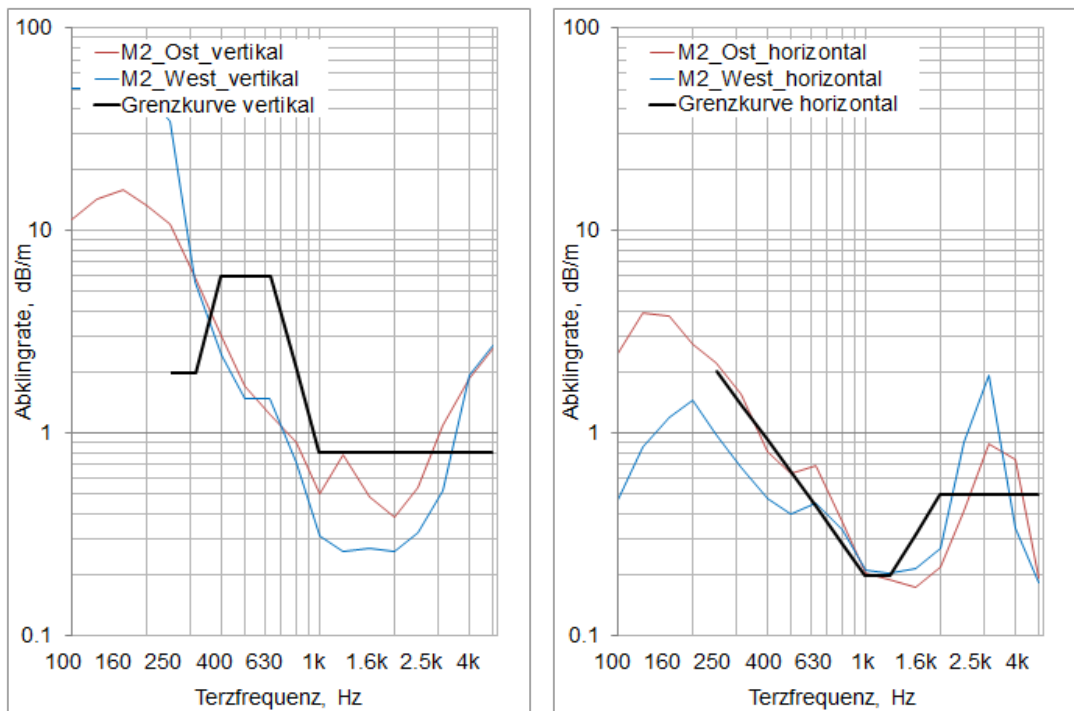


Abbildung 5. Gleisabklingraten des Streckenabschnitts M2 mit vertikaler Abklingrate (links) und horizontaler Abklingrate (rechts). Die Abklingrate der östlichen Schiene ist rot, die der westlichen blau dargestellt und schwarz jeweils die Grenzkurven gemäss TSI [2].

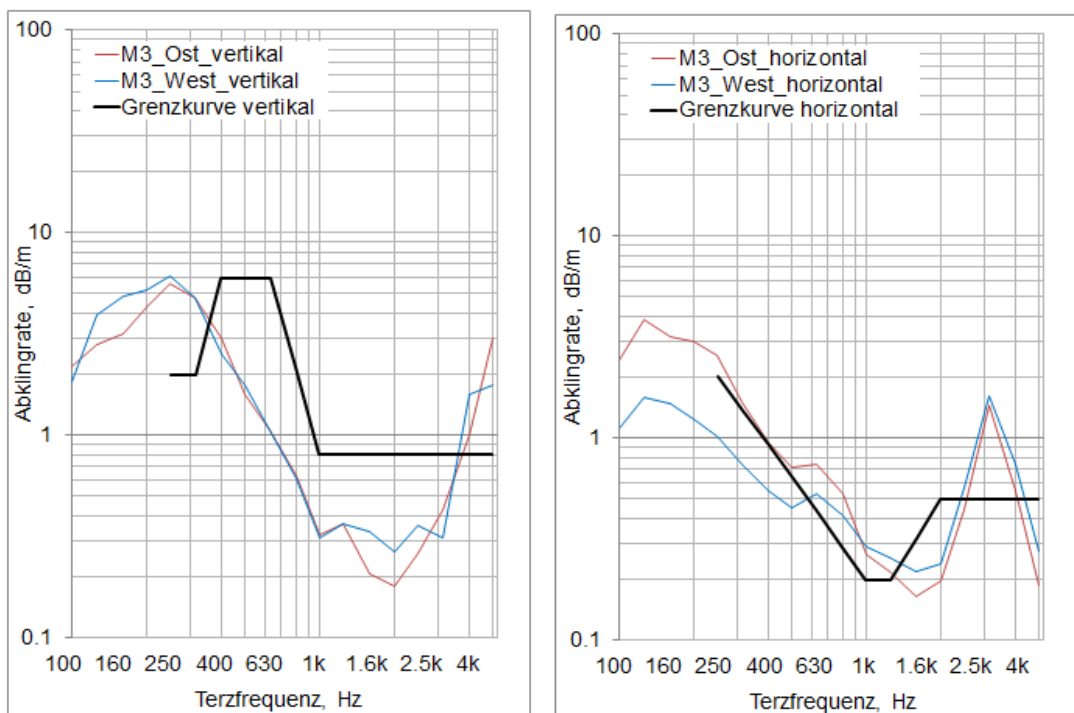


Abbildung 6. Gleisabklingraten des Streckenabschnitts M3 mit vertikaler Abklingrate (links) und horizontaler Abklingrate (rechts). Die Abklingrate der östlichen Schiene ist rot, die der westlichen blau dargestellt und schwarz jeweils die Grenzkurven gemäss TSI [2].

Anhang A

Messanordnung und Ergebnistabellen

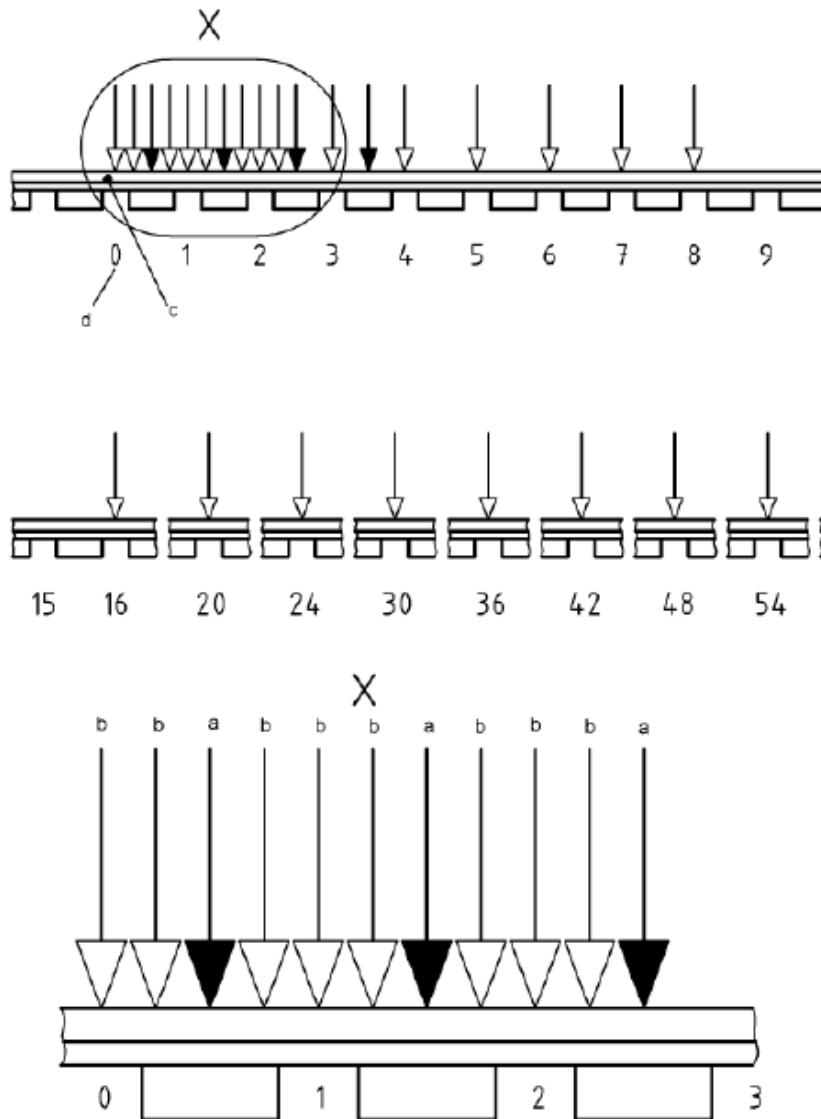


Abbildung A 1. Messpositionen für die Erfassung der Gleisabklingrate entsprechend EN 15461 [1], a: Hammerschlagimpuls auf der Schiene oberhalb der Schwelle, b: Hammerschlagimpuls auf der Schiene zwischen den Schwellen, c: Position des Beschleunigungsaufnehmers, d: Index des Schwellenfaches.

Tabelle A 1. Abklingraten des Abschnitts M1 in tabellarischer Form.

Terzfrequenz, Hz	Abklingrate, dB/m			
	östliche Schiene vertikal	östliche Schiene horizontal	westliche Schiene vertikal	westliche Schiene horizontal
80	2.60	14.11	3.64	0.61
100	3.38	14.07	6.54	0.54
125	4.75	13.89	7.77	0.33
160	5.87	13.43	8.04	0.10
200	7.88	10.69	9.43	1.84
250	7.66	4.75	8.37	4.17
315	8.47	4.30	11.77	2.29
400	13.75	2.59	5.77	1.56
500	20.42	1.80	5.50	1.38
630	13.09	7.24	11.77	3.53
800	24.42	1.49	23.12	0.99
1000	6.17	0.65	7.72	0.46
1250	12.58	0.22	12.46	0.27
1600	20.91	0.61	19.24	0.62
2000	2.56	0.42	2.33	0.64
2500	1.15	0.69	0.33	0.78
3150	0.73	1.10	1.45	0.93
4000	0.91	3.49	1.36	3.38
5000	7.27	0.72	4.38	2.01

Tabelle A 2. Abklingraten des Abschnitts M2 in tabellarischer Form.

Terzfrequenz, Hz	Abklingrate, dB/m			
	östliche Schiene vertikal	östliche Schiene horizontal	westliche Schiene vertikal	westliche Schiene horizontal
80	6.00	2.06	49.50	0.24
100	11.38	2.48	50.36	0.47
125	14.37	3.90	50.19	0.86
160	15.83	3.77	49.40	1.19
200	13.46	2.76	47.05	1.45
250	10.83	2.24	34.73	0.99
315	5.94	1.58	5.58	0.68
400	3.03	0.81	2.43	0.47
500	1.71	0.64	1.48	0.40
630	1.25	0.70	1.49	0.45
800	0.91	0.36	0.71	0.34
1000	0.50	0.20	0.31	0.21
1250	0.79	0.19	0.26	0.20
1600	0.49	0.17	0.27	0.21
2000	0.38	0.22	0.26	0.27
2500	0.54	0.41	0.32	0.90
3150	1.09	0.88	0.52	1.94
4000	1.87	0.74	1.94	0.34
5000	2.61	0.19	2.72	0.18

Tabelle A 3. Abklingraten des Abschnitts M3 in tabellarischer Form.

Terzfrequenz, Hz	Abklingrate, dB/m			
	östliche Schiene vertikal	östliche Schiene horizontal	westliche Schiene vertikal	westliche Schiene horizontal
80	4.33	2.34	0.60	0.33
100	2.17	2.42	1.83	1.11
125	2.80	3.89	3.90	1.58
160	3.18	3.19	4.82	1.48
200	4.33	3.00	5.22	1.23
250	5.58	2.58	6.17	1.02
315	4.80	1.52	4.80	0.74
400	3.02	0.95	2.51	0.55
500	1.59	0.72	1.76	0.45
630	1.06	0.74	1.06	0.53
800	0.63	0.53	0.62	0.41
1000	0.32	0.27	0.31	0.29
1250	0.37	0.22	0.36	0.26
1600	0.21	0.16	0.33	0.22
2000	0.18	0.20	0.27	0.24
2500	0.26	0.44	0.36	0.56
3150	0.43	1.46	0.31	1.61
4000	1.01	0.55	1.61	0.75
5000	3.01	0.19	1.76	0.27