

Müller-BBM GmbH
Robert-Koch-Str. 11
82152 Planegg bei München

Telefon +49(89)85602 0
Telefax +49(89)85602 111

www.MuellerBBM.de

Dipl.-Ing. (FH) Andreas Lackner
Telefon +49(89)85602 3177
Andreas.Lackner@mbbm.com

14. Dezember 2017
M132747/01 LCK/BDI

Beeinflussung des PTB-Geländes durch die Ausweitung des benachbarten Schienenverkehrs

Messung und Beurteilung von Erschütterungen

Bericht Nr. M132747/01

Auftraggeber:	Stadt Braunschweig Platz der Deutschen Einheit 1 38100 Braunschweig
Auftragsnummer:	10.04-150/0100
Bearbeitet von:	Dipl.-Ing. (FH) Andreas Lackner
Berichtsumfang:	31 Seiten insgesamt, davon 14 Seiten Textteil, 2 Seiten Anhang A, 4 Seiten Anhang B 9 Seiten Anhang C und 2 Seiten Anhang D

Müller-BBM GmbH
HRB München 86143
USt-IdNr. DE812167190

Geschäftsführer:
Joachim Bittner, Walter Grotz,
Dr. Carl-Christian Hantschk, Dr. Alexander Ropertz,
Stefan Schierer, Elmar Schröder

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	3
1 Situation und Aufgabenstellung	6
2 Grundlagen	7
3 Allgemeine Beurteilungskriterien	7
4 Messgeräte	10
5 Durchführung der Messungen	11
5.1 Allgemeine Beschreibung der Messungen	11
5.2 Aufzeichnung und Auswertung der Messdaten	11
5.3 Messorte	11
5.4 Einzelereignisse	12
6 Messergebnisse Erschütterungen	13

Anhang A: Lageplan Messorte

Anhang B: Abbildungen

Anhang C: Messdaten Erschütterungen Einzelereignisse

Anhang D: Messdaten Erschütterungen Einzelereignisse und
Grundniveau (Messung 2016)

Zusammenfassung

Die Stadt Braunschweig und die Gemeinde Wendeburg planen die Sanierung und nachfolgend die intensivere Nutzung der eingleisigen Bahnstrecke zwischen Wendeburg und Braunschweig. Der derzeitige Verkehr auf der Strecke (täglich ein „Müllzug“ im Schrittempo zum Abfallentsorgungszentrum Watenbüttel, gelegentlich langsam fahrende Güterzüge zum bzw. vom nahegelegenen Logistik-Optimierungszentrums Harvesse der Volkswagen AG) soll erweitert werden und für den Personennahverkehr im 30-Minuten-Takt verwendet werden. Auch zusätzliche Güterzüge zur Versorgung des Logistikzentrums von VW mit höherer Geschwindigkeit als bisher sind nicht ausgeschlossen. Als maximale Streckengeschwindigkeit sind 40 km/h vorgesehen.

Die Bahnstrecke befindet sich unmittelbar angrenzend an das Gelände der Physikalisch-Technischen-Bundesanstalt (PTB). Die PTB betreibt dort eine Vielzahl von Fachlaboratorien, in denen teilweise hochsensible Messungen stattfinden, die durch Schwingungen, verursacht durch Bodenerschütterungen aus dem Bahnverkehr, gestört werden können. Eigene messtechnische Untersuchungen der PTB zeigen, dass in Teilbereichen der Fachlaboratorien bereits jetzt Störungen durch den Zugverkehr auftreten [1]. Die PTB befürchtet deshalb durch den Ausbau der Bahnstrecke eine Beeinträchtigung zahlreicher erschütterungsempfindlicher Versuchsanlagen auf ihrem Gelände.

Die Stadt Braunschweig und die Gemeinde Wendeburg veranlassten daher Testfahrten mit einem Personentriebwagen sowie einem Güterzug mit höherer als der bislang üblichen Geschwindigkeit in enger Abstimmung mit der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt und dem nationalen Meteorologieinstitut Deutschlands. Müller-BBM wurde beauftragt diese Versuchsfahrten erschütterungstechnisch zu dokumentieren, damit die damit verbundenen Auswirkungen beurteilt werden können.

Ergebnis Erschütterungen

Vergleich Güterzugfahrten mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten

Der Vergleich mit Güterzugfahrten mit geringerer Geschwindigkeit zeigt, dass durch die Durchfahrt der aktuell gemessenen Güterzüge mit 40 km/h mit bis zu 25 % höheren Erschütterungsimmissionen auf dem Gelände der PTB gerechnet werden muss.

Vergleich Personenzüge mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten

Die Untersuchung unterschiedlicher Geschwindigkeiten des Personenverkehrs zeigen, dass eine Halbierung der Geschwindigkeit auch in etwa eine Halbierung der Erschütterungsimmissionen bewirkt.

Bei einer Geschwindigkeit von 25 km/h konnte am Messpunkt 4 ca. in der Mitte des PTB-Geländes kein Nutzsignal mehr identifiziert werden, welches sich vom Hintergrundrauschen/Grundniveau abgehoben hätte.

Vergleich Güter- und Personenverkehr

Der Vergleich des aktuell gemessenen Güter- und Personenverkehrs zeigt, dass die Erschütterungen des Personenverkehrs um ca. Faktor 5 (Personenzug mit 40 km/h) bzw. ca. Faktor 10 (Personenzug mit 25 km/h) geringer ausfallen als jene des Güterverkehrs.

Grundniveau

Für das erschütterungstechnische Grundniveau in der Mitte des PTB-Geländes ist im Terzspektrum des Nachtzeitraums lediglich eine max. Schwingschnelle von $0,5 \mu\text{m/s}$ festgestellt worden. Dies entspricht der Einhaltung der Klasse Nano-E-F. Um eine Größenordnung der Schwingungen zu erreichen, wie sie im Nachtzeitraum am Messpunkt A4 gemessen wurde (Nano-E-F, Strengstes Kriterium für REM und TEM der Nanotechnik für Auflösungen im Sub-Anströmbereich), muss in der Regel hoher konstruktiver Aufwand betrieben werden (z. B. durch die Erstellung massiver Fundamente oder Entkopplung mittels Federelementen). Die Güterzugfahrten zeigen, dass dieses Niveau selbst in der Mitte des PTB Geländes um bis zu 4 Klassen verschlechtert wird, während durch den Personenverkehr mit 25 km/h am Messpunkt A4 in der Mitte des PTB-Geländes keine messtechnische Verschlechterung festzustellen war. Am Rand des PTB Geländes (Messpunkte 1 bis 3) ist sowohl durch die Güterzugfahrten als auch durch die Personenzüge eine wesentliche Verschlechterung des Schwingungs-Grundniveaus festzustellen.

Fazit:

Der Güterzugverkehr hat für einen Großteil des PTB-Geländes erschütterungstechnische Auswirkungen. Eine Zunahme des Güterzugverkehrs mit Geschwindigkeiten von bis zu 40 km/h hätte dementsprechend weitere Verschlechterungen (höhere Erschütterungen und weniger schwingungsarme Zeiträume) zur Folge.

Der Personenzugverkehr hat für Teilbereiche des PTB-Geländes erschütterungstechnische Auswirkungen. Aufgrund des höheren Taktes des Personenverkehrs wären diese Bereiche aus erschütterungstechnischer Sicht besonders belastet.

Ob die PTB auf diese Bereiche verzichten kann und ob kürzere schwingungsfreie Zeiträume den Arbeitsabläufen der PTB ausreichen, muss abschließend durch die Physikalisch-Technische-Bundesanstalt beantwortet werden.

Für den Inhalt des vorliegenden Berichtes zeichnen verantwortlich:



Dipl.-Ing. (FH) Andreas Lackner
Telefon +49 (0)89 85602-3177
– Projektverantwortlicher –

Dieser Bericht darf nur in seiner Gesamtheit, einschließlich aller Anlagen, vervielfältigt, gezeigt oder veröffentlicht werden. Die Veröffentlichung von Auszügen bedarf der schriftlichen Genehmigung durch Müller-BBM. Die Ergebnisse beziehen sich nur auf die untersuchten Gegenstände.



Durch die DAKkS Deutsche Akkreditierungsstelle GmbH
nach DIN EN ISO/IEC 17025 akkreditiertes Prüflaboratorium.
Die Akkreditierung gilt für die in der Urkunde aufgeführten Prüfverfahren.

1 Situation und Aufgabenstellung

Die Stadt Braunschweig und die Gemeinde Wendeburg planen die Sanierung und nachfolgend die intensivere Nutzung der eingleisigen Bahnstrecke zwischen Wendeburg und Braunschweig. Der derzeitige Verkehr auf der Strecke (täglich ein „Müllzug“ im Schrittempo zum Abfallentsorgungszentrum Watenbüttel, gelegentlich langsam fahrende Güterzüge zum bzw. vom nahegelegenen Logistik-Optimierungszentrums Harvesse der Volkswagen AG) soll erweitert werden und für den Personennahverkehr im 30-Minuten-Takt verwendet werden. Auch zusätzliche Güterzüge zur Versorgung des Logistikzentrums von VW mit höherer Geschwindigkeit als bisher sind nicht ausgeschlossen. Als maximale Streckengeschwindigkeit sind 40 km/h vorgesehen.

Die Bahnstrecke befindet sich unmittelbar angrenzend an das PTB-Gelände. Die PTB betreibt dort eine Vielzahl von Fachlaboratorien, in denen teilweise hochsensible Messungen stattfinden, die durch Schwingungen, verursacht durch Bodenerschütterungen aus dem Bahnverkehr, gestört werden können. Eigene messtechnische Untersuchungen der PTB zeigen, dass in Teilbereichen der Fachlaboratorien bereits jetzt Störungen durch den Zugverkehr auftreten [1]. Die PTB befürchtet deshalb durch den Ausbau der Bahnstrecke eine Beeinträchtigung zahlreicher erschütterungsempfindlicher Versuchsanlagen auf ihrem Gelände.

Die Stadt Braunschweig und die Gemeinde Wendeburg veranlassten daher Testfahrten mit einem Personentriebwagen sowie einem Güterzug mit höherer als der bislang üblichen Geschwindigkeit in enger Abstimmung mit der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) und dem nationalen Meteorologieinstitut Deutschlands. Müller-BBM wurde beauftragt diese Versuchsfahrten erschütterungstechnisch zu dokumentieren, damit die damit verbundenen Auswirkungen beurteilt werden können.

2 Grundlagen

- [1] Henric Volkers, Matthias Fischer: Immissionen von Bodenerschütterungen durch den benachbarten Schienenverkehr in der PTB.
Physikalisch-Technische Bundesanstalt Braunschweig und Berlin,
Braunschweig, März 2015
- [2] DIN 45669-1: Messung von Schwingungsimmissionen –
Teil 1: Schwingungsmesser – Anforderungen und Prüfungen, September 2010
- [3] DIN 45669-2: Messung von Schwingungsimmissionen –
Teil 2: Messverfahren, Juni 2005
- [4] DIN°45672-1: Schwingungsmessungen in der Umgebung von
Schienenverkehrswegen – Teil 1: Messverfahren . Dezember 2009
- [5] VDI 2038 Blatt 2: Gebrauchstauglichkeit von Bauwerken bei dynamischen
Einwirkungen – Untersuchungsmethoden und Beurteilungsverfahren der
Baudynamik – Schwingungen und Erschütterungen – Prognose, Messung,
Beurteilung und Minderung, Januar 2013¹
- [6] Geschwindigkeitsprotokoll der Zugfahrten – gemessen durch die PTB, Excel-
Tabelle per Email vom 14.11.2017

3 Allgemeine Beurteilungskriterien

Auf empfindliche wissenschaftliche Geräte einwirkende Erschütterungen können zu ernststen Beeinträchtigungen im Betrieb dieser Geräte führen.

Die Ursachen der Erschütterungen stammen von externen Quellen, wie Straßenverkehr, Schienenverkehr oder erschütterungserzeugenden Betriebsanlagen, internen Vorgängen in den Gebäuden, wie Publikumsverkehr in den Gebäuden etc., von haustechnischen Anlagen und technischen Anlagen für den Betrieb der Geräte selbst.

Typischerweise haben alle Geräte in Abhängigkeit von ihrer Funktionsweise, ihrer Leistungsfähigkeit und ihren Konstruktionsweisen (z. B. steifeoptimierte Gerätekonstruktionen, interne Lagerungen etc.) individuelle Anforderungen an tolerierbare Erschütterungseinwirkungen. Es haben sich dabei schon seit Jahrzehnten allgemeine Anforderungsprofile eingebürgert, die insbesondere für die Standortplanungen bzw. Standortbewertungen von wissenschaftlicher Einrichtungen bzw. hochempfindlicher Produktionseinrichtungen dienen. Diese Anforderungen sind als BBN-Kurven bekannt geworden und haben auch als VC-Kurven (Vibration Criteria) und Nano-Kurven Eingang in die Normung gefunden.

Die VC- bzw. Nano-Kurven sind entsprechend der VDI 2038, Blatt 2 [5] wie folgt klassifiziert (s. Tabelle 1):

¹ nicht im Akkreditierungsumfang D-PL-14119-01-01 enthalten

Tabelle 1. Klassifizierung der VC-Kurven nach VDI 2038, Blatt 2 [5].

VC-Kurven	v_{eff} - Terzspektren (8 – 80 Hz) [$\mu\text{m/s}$] 4 bis 8 Hz konstante Beschleunigung	Typische Nutzungen
Menschliche Fühlschwelle	100	Menschliche Fühlschwelle, optische Mikroskope bis 100-fache Vergrößerungen bis 30 μm Strukturbreite
VC-A	50	Optische Mikroskope bis 400-fache Vergrößerungen, Wägräume mit Präzisionswaagen, Koordinatenmessmaschinen, optische Komparatoren, hochwertige Laborumgebung. bis 8 μm Strukturbreite
VC-B	25	Optische Mikroskope über 400-fache Vergrößerungen, Räume für Mikro-, Augen und Neurochirurgie, Lithographie-Geräte bis 3 μm Strukturbreite, optische Versuche auf isolierten Tischen.
VC-Kurven	v_{eff} - Terzspektren (1 – 80 Hz) [$\mu\text{m/s}$]	Typische Nutzungen
VC-C	12,5	Mikroskope bis 1000-fache Vergrößerungen, MRT-Geräte, Lithographie-Geräte bis 1 μm Strukturbreite.
VC-D	6,25	Passend für sehr hochwertige Elektronenmikroskope (REMs, TEMs), Massenspektrometer, Ausrüstungen für Zellimplantationen, Lithographie-Geräte bis 0,3 μm Strukturbreite.
VC-E	3,1	Elektronenmikroskope mit speziellen Anforderungen, z. B. hochauflösende TEMs; AFMs, STEMs etc., nicht isolierte optische und Laser-Versuchsanordnungen, Lithographie-Geräte bis Strukturbreite < 0,1 μm . Schwierig einzuhaltendes Kriterium.
VC-F	1,6	Kriterium für extrem ruhige Forschungsräume, sehr schwierig zu erreichen.
VC-G	0,8	Erweitertes Kriterium für extrem, ruhige Forschungsräume, sehr schwierig zu erreichen.

Tabelle 2. Klassifizierung der Nano- Kurven nach VDI 2038, Blatt 2 [5].

Nano - Kurven	v_{eff} - Terzspektren (1 – 5 / 20 - 100 Hz) [$\mu\text{m/s}$]	Typische Nutzungen
Nano – D	1,6 / 6,4	Sehr schwierig einzuhaltendes Kriterium für REM der Nanotechnik mit Auflösungen bis 1nm
Nano - E	0,8 / 3,2	Extremes Kriterium für REM der Nanotechnik mit Auflösungen von 2 bis 5 Å (10 Å = 1nm) bzw. 0,2 bis 0,5 nm
Nano -EF	0,53 / 2,1	Strengstes Kriterium für REM und TEM der Nanotechnik für Auflösungen im Sub-Anströmbereich; < 0,1 nm

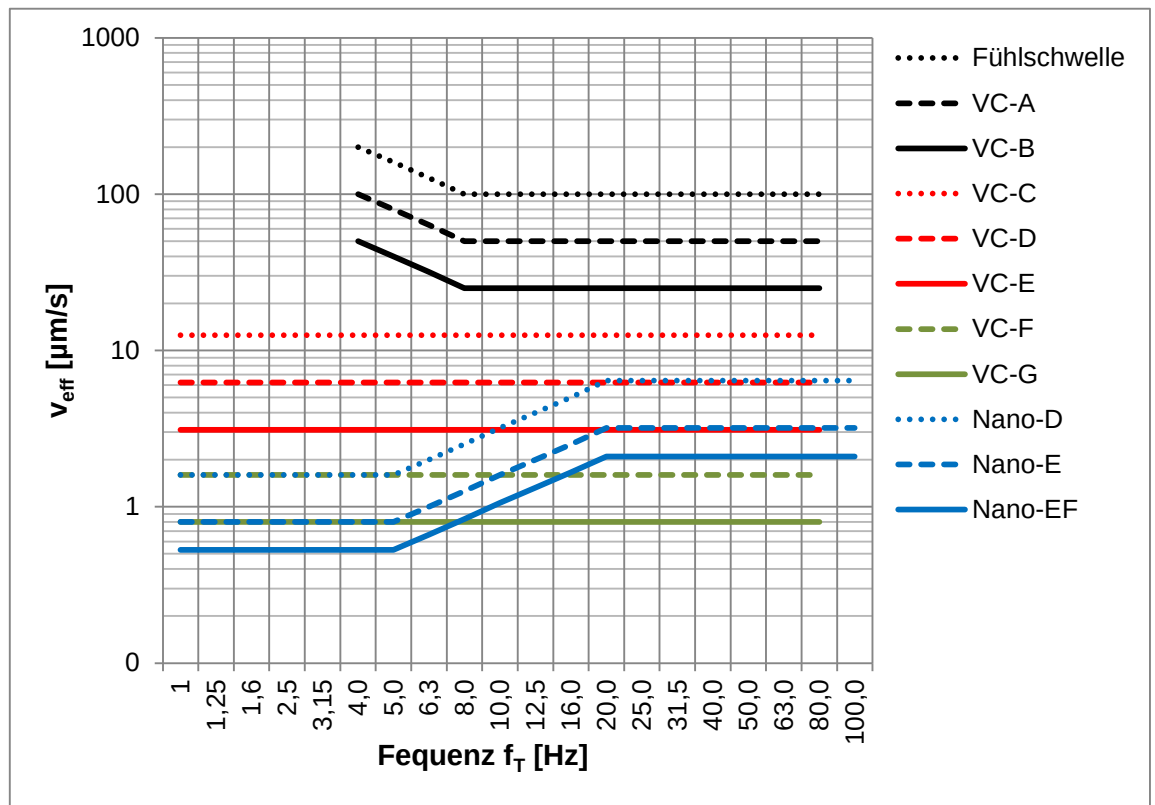


Abbildung 1. VC- und Nano-Kurven nach VDI 2038, Blatt 2 [5].

4 Messgeräte

Tabelle 3. Verwendete Messgeräte.

Nr.	Messgerät	Hersteller	Typ	Serien-Nr.
Sensoren für Ausbreitungsmessung				
1				G-440
2	Geschwindigkeitsaufnehmer			G-441
3	(Empfindlichkeit 400 V/ms ⁻¹)	Lennartz electronic	Le-3D	G-362
4	„Triaxial“			H-388
Allgemeine Ausrüstung/Software				
5	Messdatenerfassung bestehend aus Controller Input Karte Input Module	Mecalp	MKII PQ20G2 SC42G2 ICP 4211G2	 0814M8656 0314M3385 1114M0941 1114M0814 1114M0923 1114M0920
14	Messwerterfassungs- und Auswertesoftware	MBBM VAS	PAK	5.9 SR 3b

Die für die Schwingungsmessungen eingesetzten Geräte entsprechen den Vorgaben für Schwingungsmesser nach DIN 45669-1 [2]. Durch die Erfüllung der in DIN 45669-1 [2], -2 [3] festgelegten Einzelanforderungen an Schwingungsmesser können gerätetechnisch bedingte Messabweichungen klein gehalten werden. Aufgrund der in der DIN 45669-2 [3] erlaubten Einzelabweichungen ist zu erwarten, dass die Messabweichungen einer einzelnen Anzeigegröße unabhängig von der Signalart die Vertrauensgrenze von 15 % für effektivwertbasierte Messwerte und 20 % für Spitzenwerte mit hohem statistischem Vertrauensniveau einhalten.

5 Durchführung der Messungen

5.1 Allgemeine Beschreibung der Messungen

Die Messungen wurden am 22. Oktober 2017 von Techniker Andreas Glas und Dipl.-Ing. (FH) Andreas Lackner von der Fa. Müller-BBM durchgeführt.

Auf einer ca. 770 m langen Messtrecke (siehe Anhang A, Lageplan Messorte), welche in etwa senkrecht zur Bahnstrecke lag, wurde an insgesamt 4 Messorten die Schwinggeschwindigkeit ausgehend durch die unterschiedlichen Zugfahrten gemessen.

Die Messungen erfolgten simultan, so dass die Abnahme der Erschütterungseinwirkung über der Entfernung bestimmt werden konnte. Während der Messzeit wurden die Vorbeifahrten von insgesamt 2 Güterzugfahrten und 6 Personenzugfahrten mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten protokolliert.

5.2 Aufzeichnung und Auswertung der Messdaten

Bei allen Messungen wurde die Zeitfunktion der Signale (Schwinggeschwindigkeitskomponenten der drei Raumrichtungen) mit einer Abtastrate von 2048 s^{-1} aufgezeichnet und anschließend statistisch ausgewertet.

Ausgewertet wurden die Güter- und Personenzugfahrten sowie das Grundniveau im Nachtzeitraum.

Für eine Beurteilung der Erschütterungsereignisse wurden entsprechend der VDI 2038, Blatt 2 [5] und wie für den Schienenverkehr üblich, Terzspektren ausgewertet.

5.3 Messorte

Die Messorte sind in Anhang A dargestellt und in Tabelle 4 beschrieben. Die Definition der Raumrichtungen ist wie folgt definiert:

- X-Richtung, horizontal (orthogonal zur Bahntrasse)
- Y-Richtung, horizontal (parallel zur Bahntrasse)
- Z-Richtung, vertikal

Tabelle 4. Lage und Beschreibung der Messpunkte.

Messpunkt	Beschreibung
Messpunkt A1	Grenze des PTB-Geländes ca. 110 m zur Bahntrasse
Messpunkt A2	ca. 210 m zur Bahntrasse
Messpunkt A3	ca. 290 m zur Bahntrasse
Messpunkt A4	Mitte des PTB-Geländes ca. 770 m zur Bahntrasse

5.4 Einzelereignisse

Als Einzelereignisse wurden zwei Güterzug- und sechs Personenzugfahrten auf der Bahnstrecke betrachtet. Die Ereignisse sind in der folgenden Tabelle charakterisiert.

Tabelle 5. Einzelereignisse der Messung am 22.10.2017.

Ereignisname	Uhrzeit	Geschwindigkeit	Richtung
Güterzug 1	8:24	40 km/h	W->O
Güterzug 2	10:14	40 km/h	O->W
Personenzug 1	11:06	40 km/h	O->W
Personenzug 2	11:39	40 km/h	W->O
Personenzug 3	12:08	23 km/h	O->W
Personenzug 4	12:18	24 km/h	W->O
Personenzug 5	12:40	Bremsfahrt	O->W
Personenzug 6	13:48	Bremsfahrt	W->O

Die Geschwindigkeiten wurden durch die Physikalisch-Technische-Bundesanstalt gemessen [6].

6 Messergebnisse Erschütterungen

In den folgenden Tabellen werden die gemessenen Schienenverkehrserschütterungen den VC-Klassen entsprechend der VDI 2038 Blatt 2 [5] (s. Abschnitt 3) gegenübergestellt. Je Messpunkt wird nur die maßgebliche Schwingrichtung/Orientierung Z (vertikal), X (horizontal, orthogonal zur Bahntrasse) oder Y (horizontal, parallel zur Bahntrasse) angegeben. Die genauen Ergebnisse je Ereignis, Messpunkt und Orientierung sind als Summenpegelverlauf oder Terzspektren in Anhang C dargestellt.

Tabelle 6. Maximale Schwingschnellen aller Richtungen aus dem Schienenverkehr.

Ereignis	V _{max}	Maximale Schwingschnelle in µm/s [RMS]			
		A1	A2	A3	A4
Güterzug 1	40 km/h	52,33	31,19	17,16	5,36
Güterzug 2	40 km/h	51,29	28,33	15,97	4,97
Personenzug 1	40 km/h	10,34	5,71	2,89	0,62
Personenzug 2	40 km/h	10,61	5,46	3,86	1,06
Personenzug 3	23 km/h	5,01	3,08	1,95	0,62
Personenzug 4	24 km/h	5,46	3,74	2,52	0,54
Personenzug 5	Bremsfahrt	8,78	5,27	2,81	0,58
Personenzug 6	Bremsfahrt	9,26	5,49	3,80	0,58
Maximalwert		52,33	31,19	17,16	5,36
VC-Klasse		--	VC-A	VC-B	VC-D

Die in Tabelle 6 dargestellten Ergebnisse zeigen, dass in guter Näherung bei Abstandsverdopplung eine Halbierung der Schwingschnellen angenommen werden kann.

Die Spektren des Schienenverkehrs zeigen allgemein tieffrequente Anteile, mit beurteilungsrelevanten Erschütterungsbeiträgen bereits ab 5 Hz. Das besonders tieffrequenter Frequenzanteile auffällig sind, ist auf die allgemeinen „Tiefpass“-Eigenschaften des Erdbereichs zurückzuführen.

Der Vergleich mit Güterzugfahrten mit geringerer Geschwindigkeit aus dem Jahr 2016 (s. Anhang Abbildung D1 und D2) zeigt, dass durch die Durchfahrt der aktuell gemessenen Güterzüge mit 40 km/h mit bis zu 25 % höheren Erschütterungsimmissionen auf dem Gelände der PTB gerechnet werden muss.

Der Vergleich des aktuell gemessenen Güter- und Personenverkehrs zeigt, dass die Erschütterungen des Personenverkehrs um ca. Faktor 5 (Personenzug mit 40 km/h) bzw. ca. Faktor 10 (Personenzug mit 25 km/h) geringer ausfallen als jene des Güterverkehrs.

Die Untersuchung unterschiedlicher Geschwindigkeiten des Personenverkehrs zeigen, dass eine Halbierung der Geschwindigkeit auch in etwa eine Halbierung der Erschütterungsimmissionen bewirkt. Bei einer Geschwindigkeit von 25 km/h konnten am Messpunkt A4 in ca. 800 m Entfernung zur Bahntrasse kein Nutzsignal mehr identifiziert werden, welches sich vom Hintergrundrauschen/Grundniveau abgehoben hätte. Dieses Niveau ist vergleichbar mit den Grundniveau-Messungen aus dem Jahr 2016. Am Messpunkt A4 ist im Terzspektrum des Nachtzeitraums (Messung 2016 zwischen 2 Uhr bis 3 Uhr) lediglich eine max. Schwingschnelle von 0,5 $\mu\text{m/s}$ festgestellt worden. Dies entspricht der Einhaltung der Klasse Nano-E-F. Um eine Größenordnung der Schwingungen zu erreichen, wie sie im Nachtzeitraum am Messpunkt A4 gemessen wurde (Nano-E-F), muss in der Regel hoher konstruktiver Aufwand betrieben werden (z. B. durch die Erstellung massiver Fundamente oder Entkopplung mittels Federelementen). Die Ergebnisse der Güterzugfahrten zeigen, dass dieses Niveau selbst in der Mitte des PTB-Geländes um bis zu 4 Klassen verschlechtert wird.

Hinweis:

Die Messergebnisse gelten für das während der Messung gefahrene Zugmaterial. Andere Züge – selbst derselben Gattung – können andere Erschütterungsimmissionen bedingen.

Wie die Untersuchungsergebnisse zeigen, ist auch die Geschwindigkeit der Züge ein wesentlicher Faktor bezüglich der Intensität der Erschütterungsimmissionen. Um höhere Erschütterungsimmissionen infolge von höheren Geschwindigkeiten ausschließen zu können, wäre vorauszusetzen, dass die Geschwindigkeit im Bereich der PTB konstant über einen Korridor von ca. 3 km anliegt (je 1.5 km nach links und rechts von der PTB). Hiermit wäre eine hinreichende Überstandslänge (Bereich vor und nach der PTB) gewährleistet, um höhere Erschütterungsimmissionen infolge stark beschleunigender Züge und damit deutlich höherer Geschwindigkeiten in Abschnitten vor und nach der PTB ausschließen zu können.

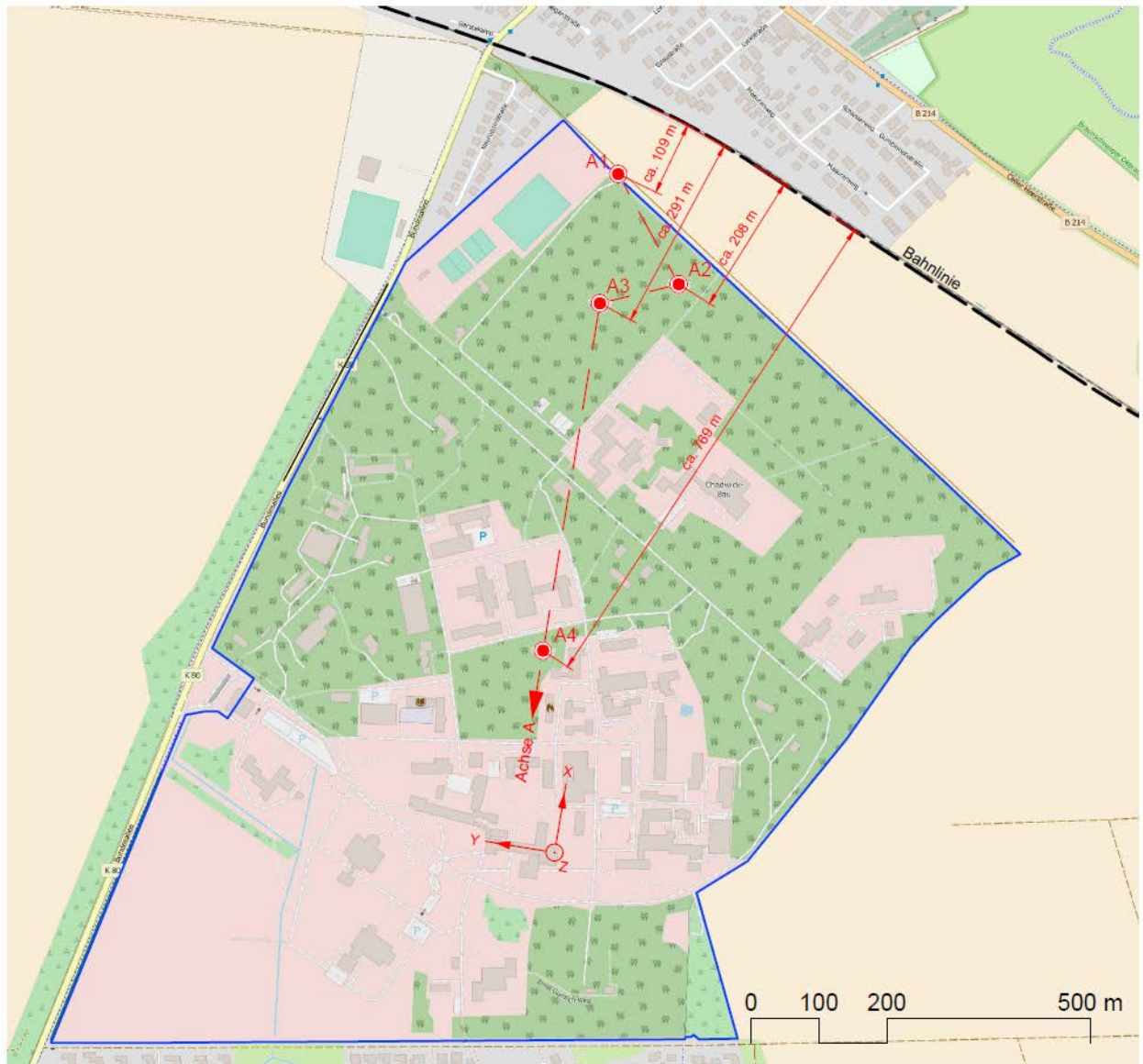


Abbildung 2. Korridor mit konstanter Geschwindigkeit. .

Anhang A

Lageplan Messorte

S:\MIPROJ\132\M132747\M132747_01_BER_3D.DOCX:14. 12. 2017



Karte: © OpenStreetMap contributors

Abbildung A 1. Lageplan und Orientierung der Messorte (A1 bis A4).

Anhang B

Abbildungen



Abbildung B 1. Blick auf die Bahnlinie und den vorbeifahrenden Personenzug.



Abbildung B 2. MESSORT A1.



Abbildung B 3. Messort A2.



Abbildung B 4. Messort A3.



Abbildung B 5. Geophon am Messort A4.

Anhang C

Messdaten Erschütterungen Einzelereignisse

**Pegelzeitverläufe der Schwingschnellen je Ereignis und Messpunkt
und deren Spektren (max-hold)**

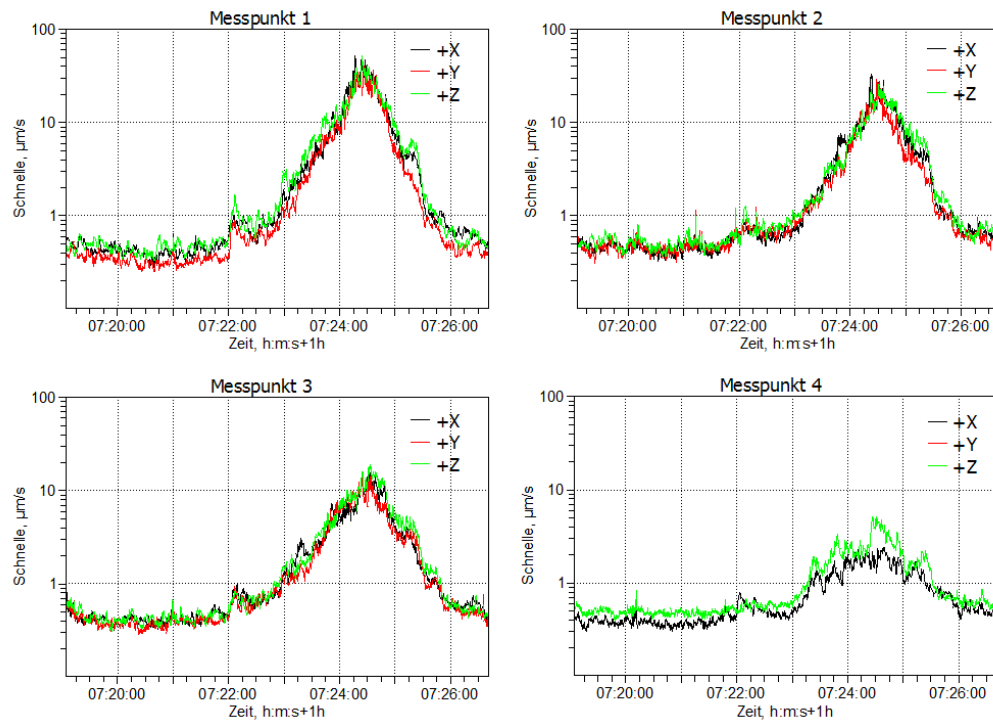


Abbildung C 1. Verlauf der Schwingschnelle (rms, Bewertung: fast) Ereignis: Güterzugfahrt 1.

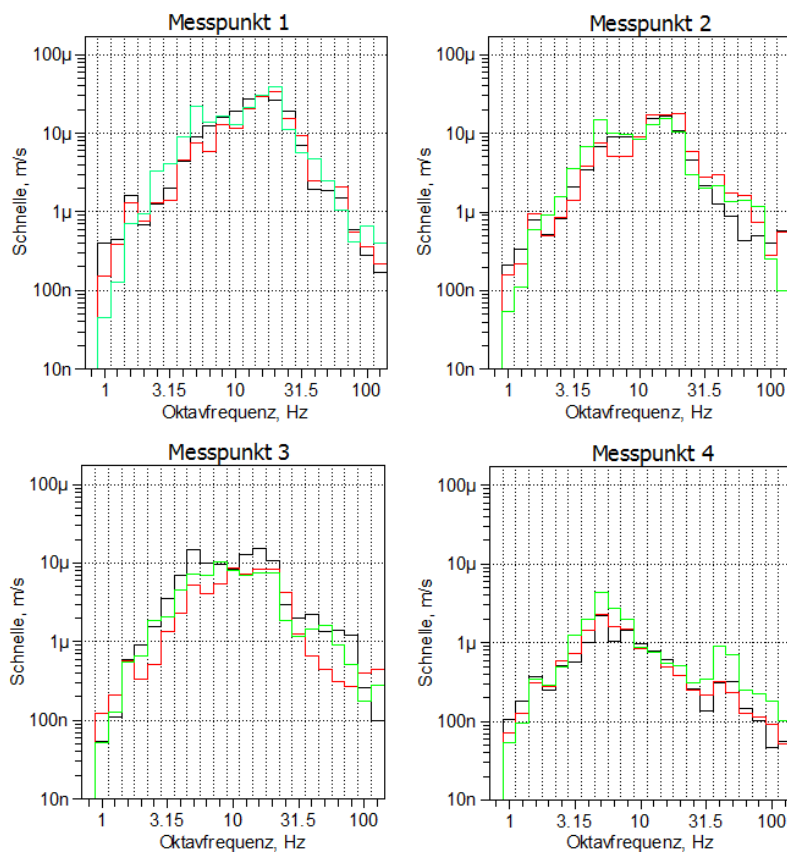


Abbildung C 2. Terz-Spektrum (rms, Bewertung: fast), Güterzugfahrt 1.

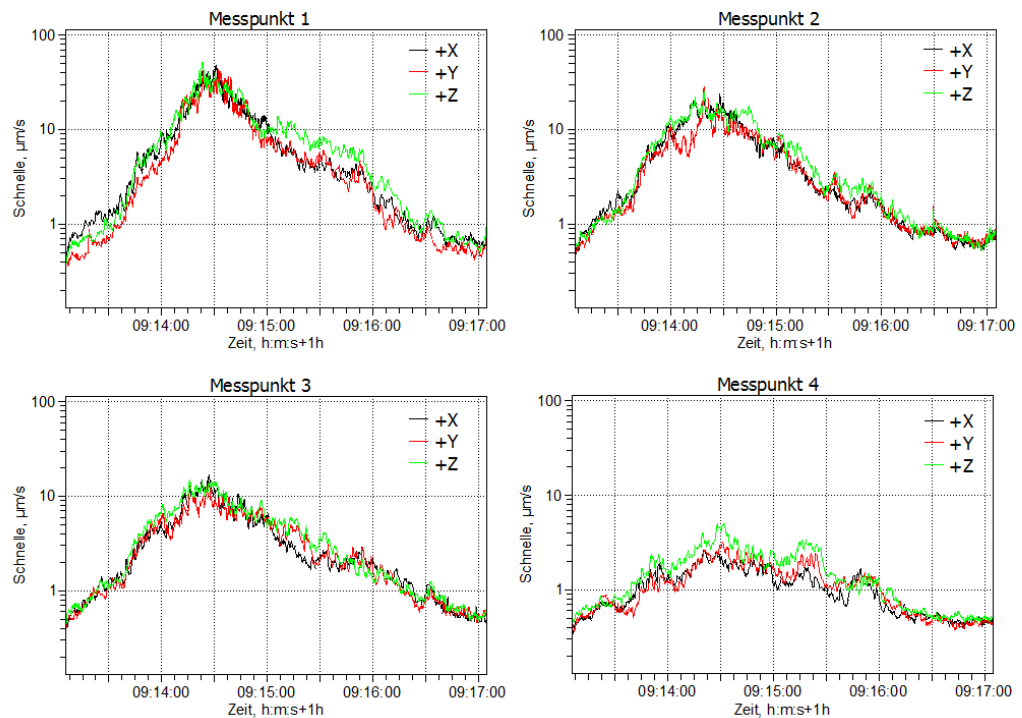


Abbildung C 3. Verlauf der Schwingschnelle (rms, Bewertung: fast) Ereignis: Güterzugfahrt 2

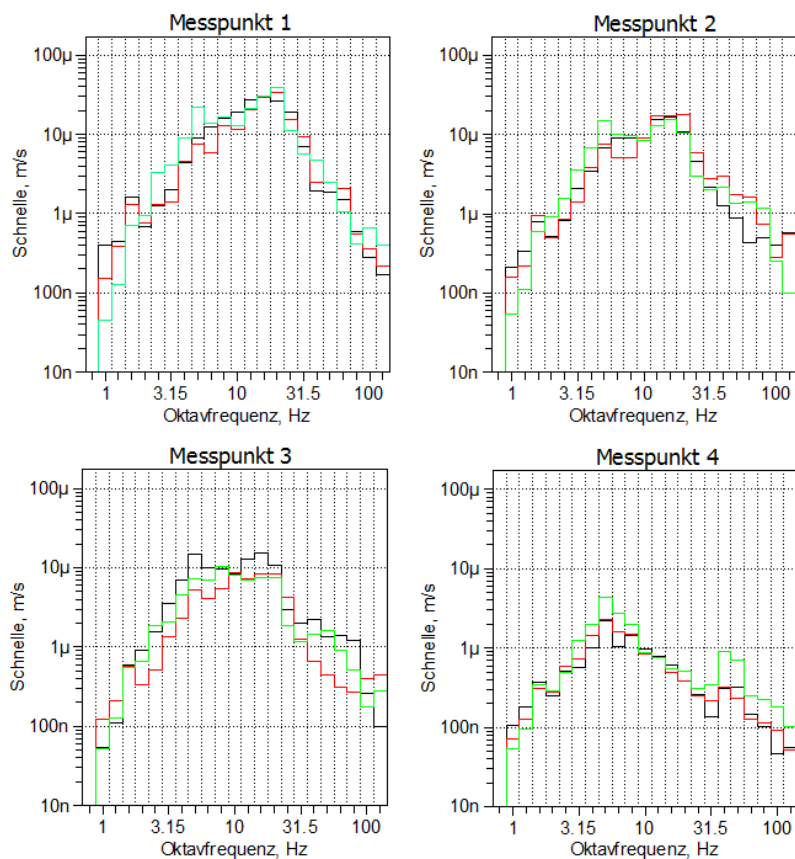


Abbildung C 4. Terz-Spektrum (rms, Bewertung: fast), Güterzugfahrt 2.

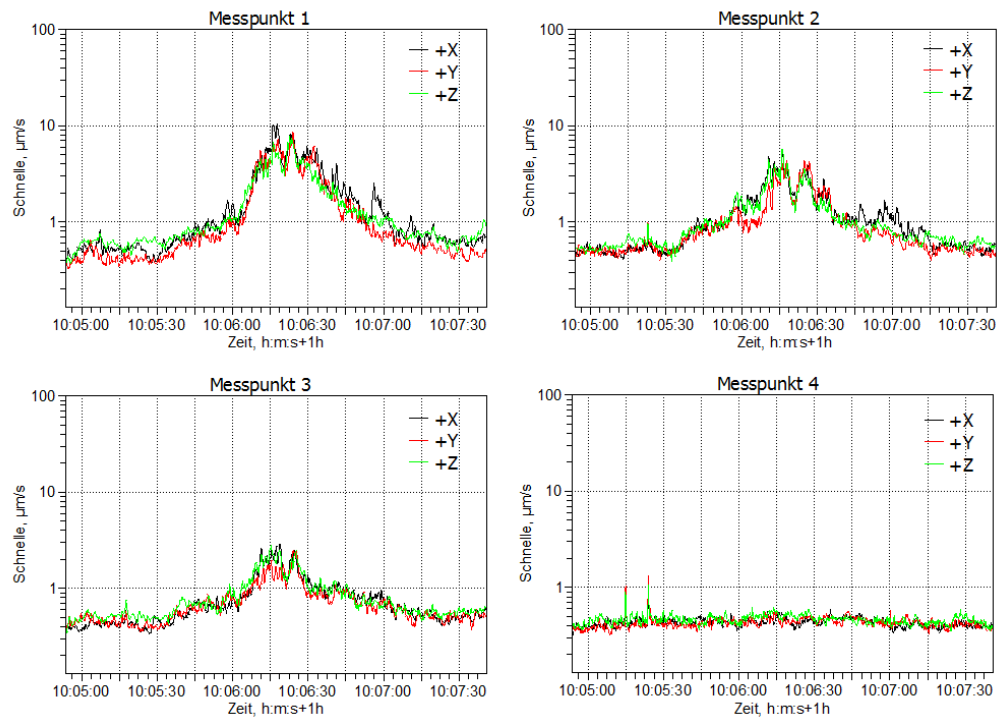


Abbildung C 5. Verlauf der Schwingungsschnelle (rms, Bewertung: fast) Ereignis: Personenzugfahrt 1 mit 40 km/h

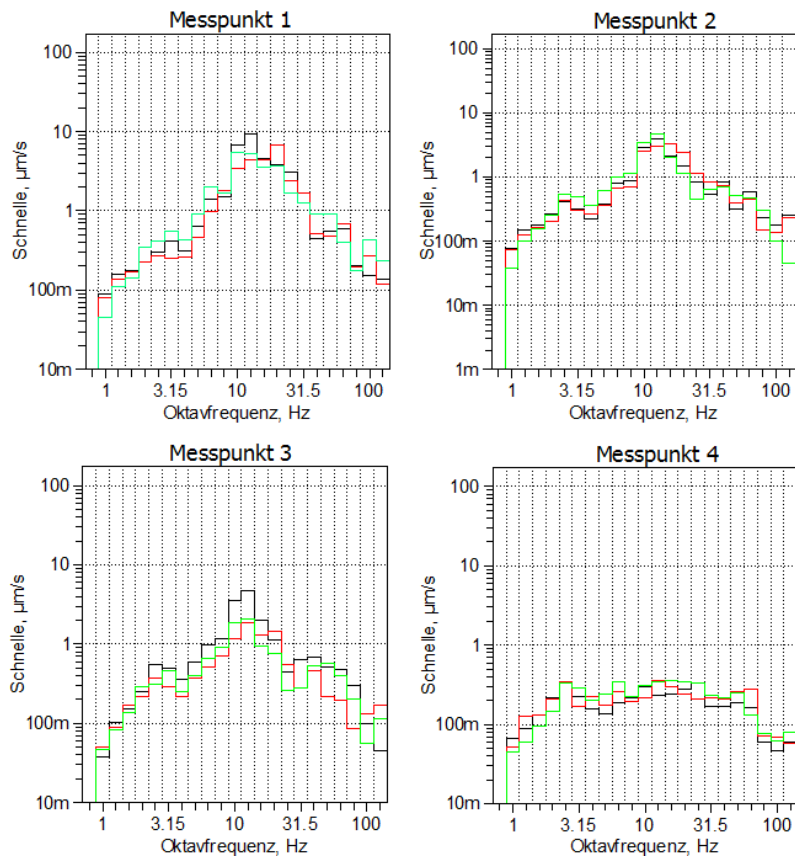


Abbildung C 6. Terz-Spektrum (rms, Bewertung: fast), Personenzugfahrt 1 mit 40 km/h.

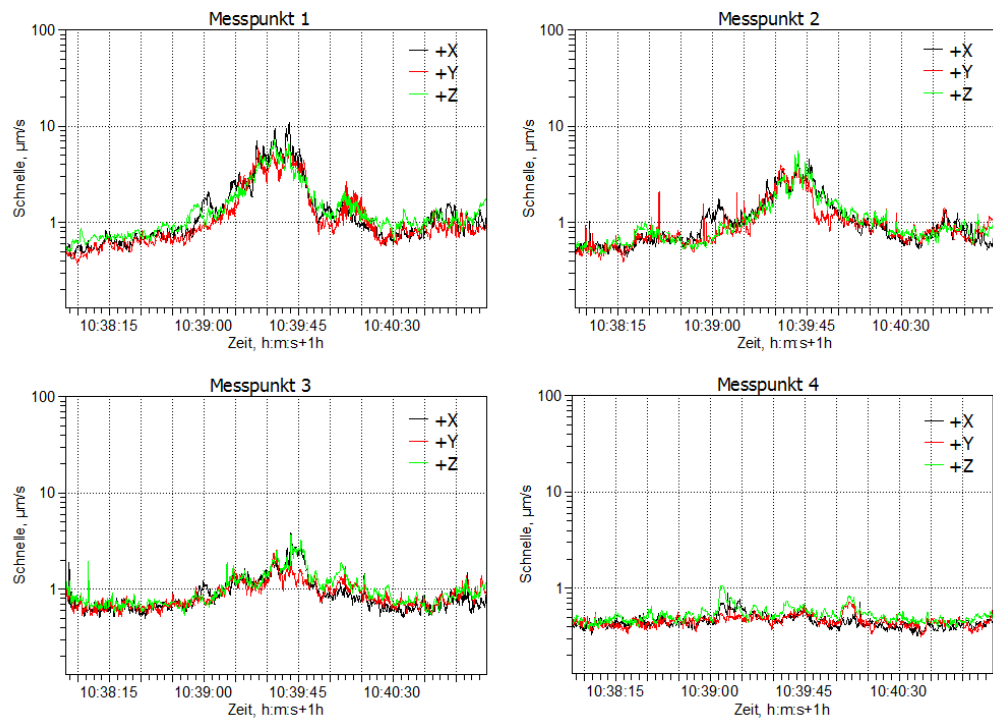


Abbildung C 7. Verlauf der Schwingschnelle (rms, Bewertung: fast) Ereignis: Personenzugfahrt 2 mit 40 km/h.

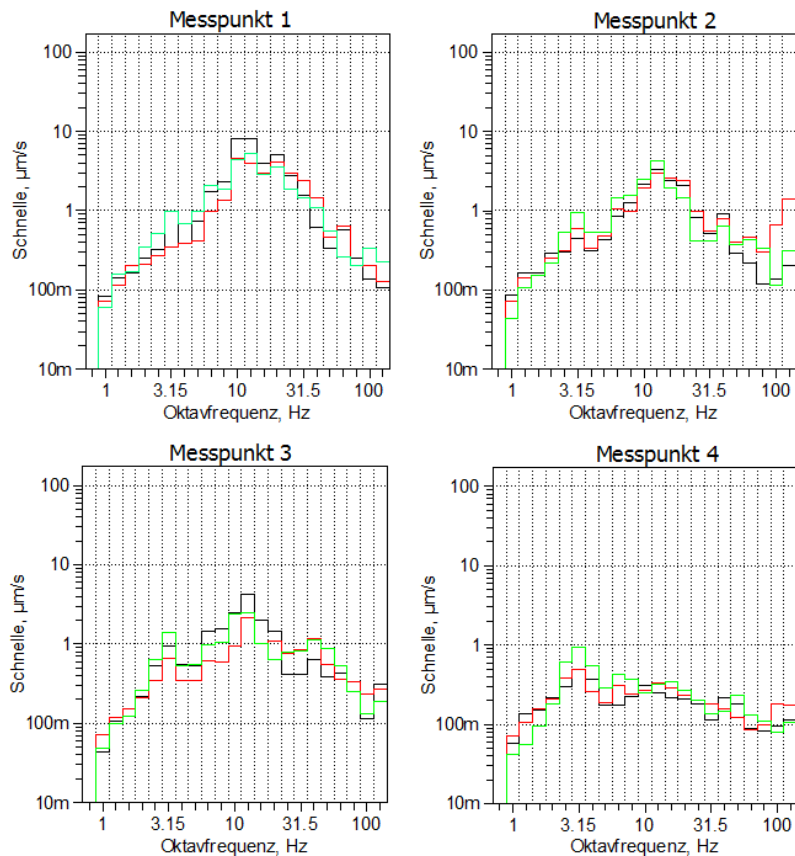


Abbildung C 8. Terz-Spektrum (rms, Bewertung: fast), Personenzugfahrt 2 mit 40 km/h.

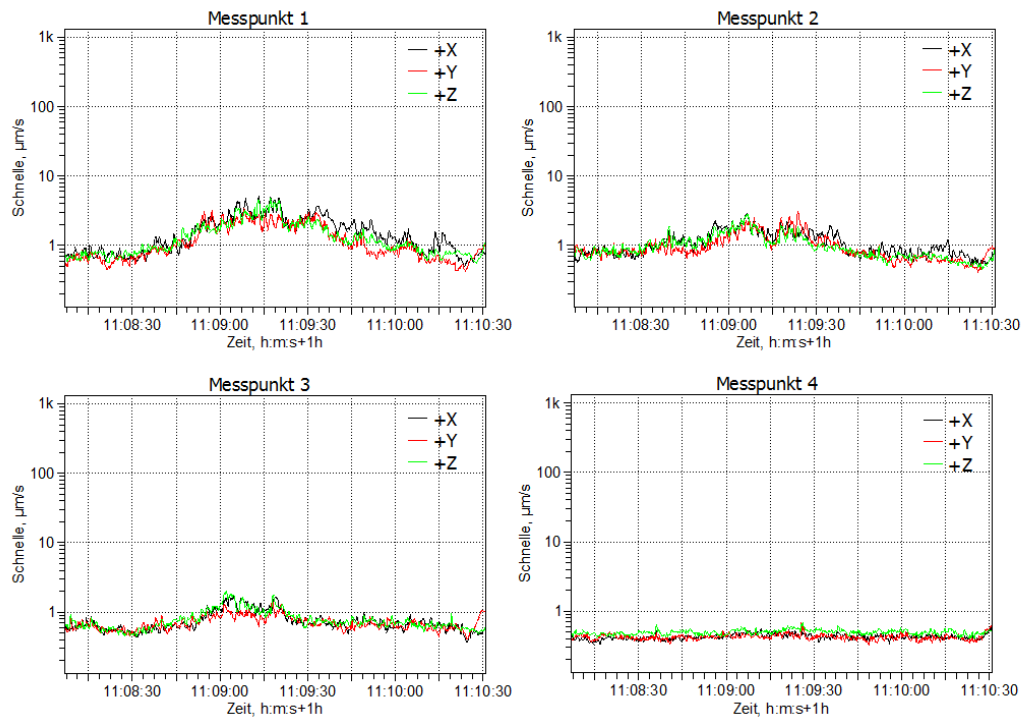


Abbildung C 9. Verlauf der Schwingschnelle (rms, Bewertung: fast) Ereignis: Personen-zugfahrt 3 mit 25 km/h.

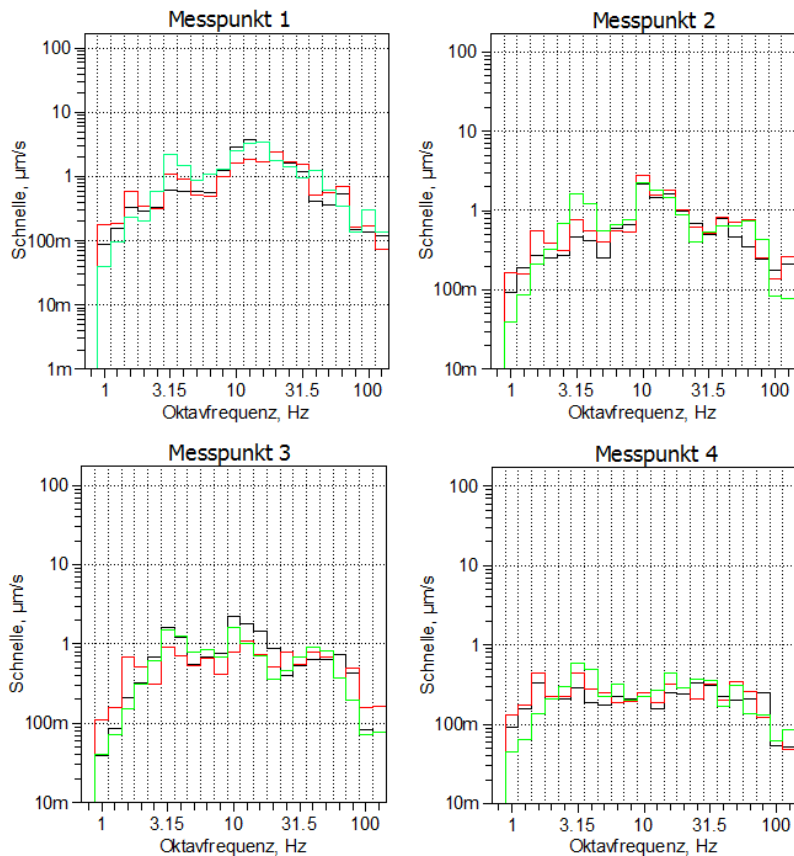


Abbildung C 10. Terz-Spektrum (rms, Bewertung: fast), Personenzugfahrt 3 mit 25 km/h.

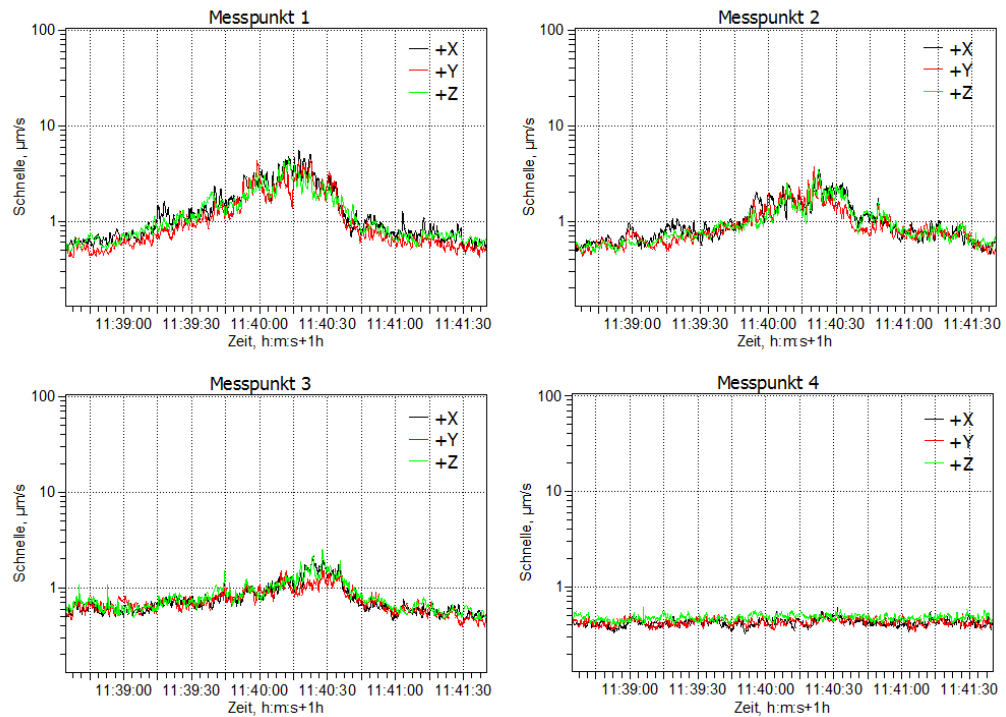


Abbildung C 11. Verlauf der Schwingschnelle (rms, Bewertung: fast) Ereignis: Personenzugfahrt 4 mit 25 km/h.

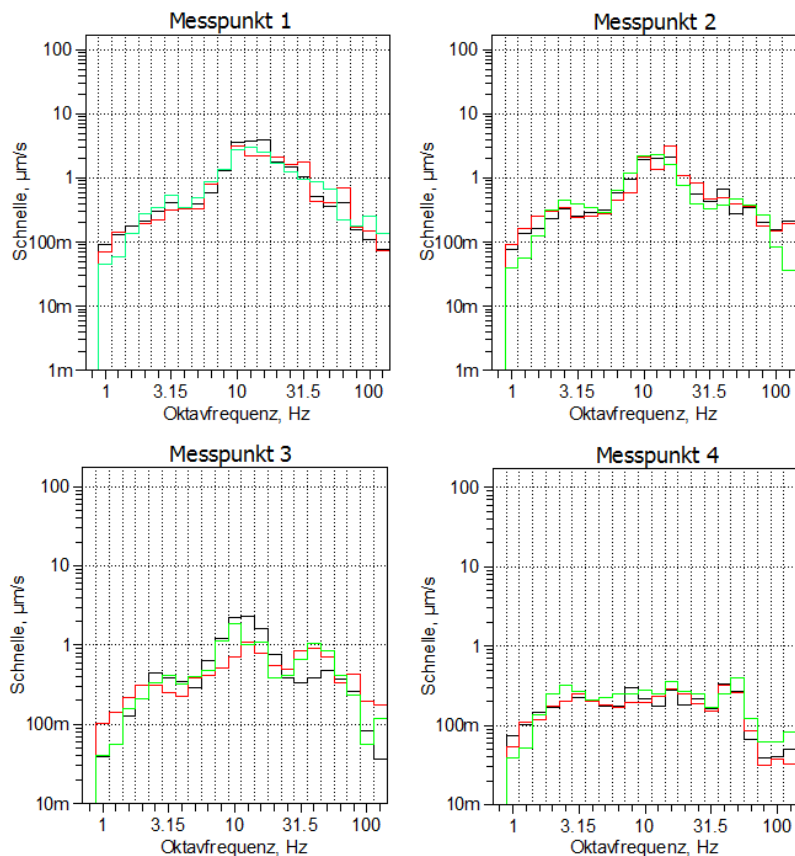


Abbildung C 12. Terz-Spektrum (rms, Bewertung: fast), Personenzugfahrt 4 mit 25 km/h.

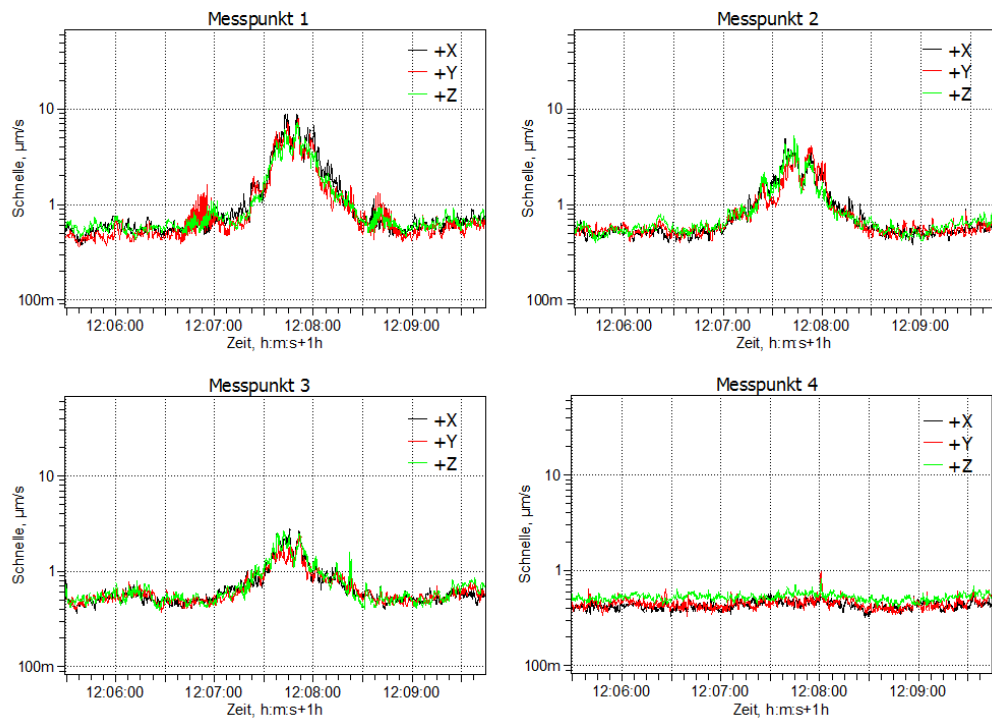


Abbildung C 13. Verlauf der Schwingschnelle (rms, Bewertung: fast) Ereignis: Personenzugfahrt 5 Bremsfahrt.

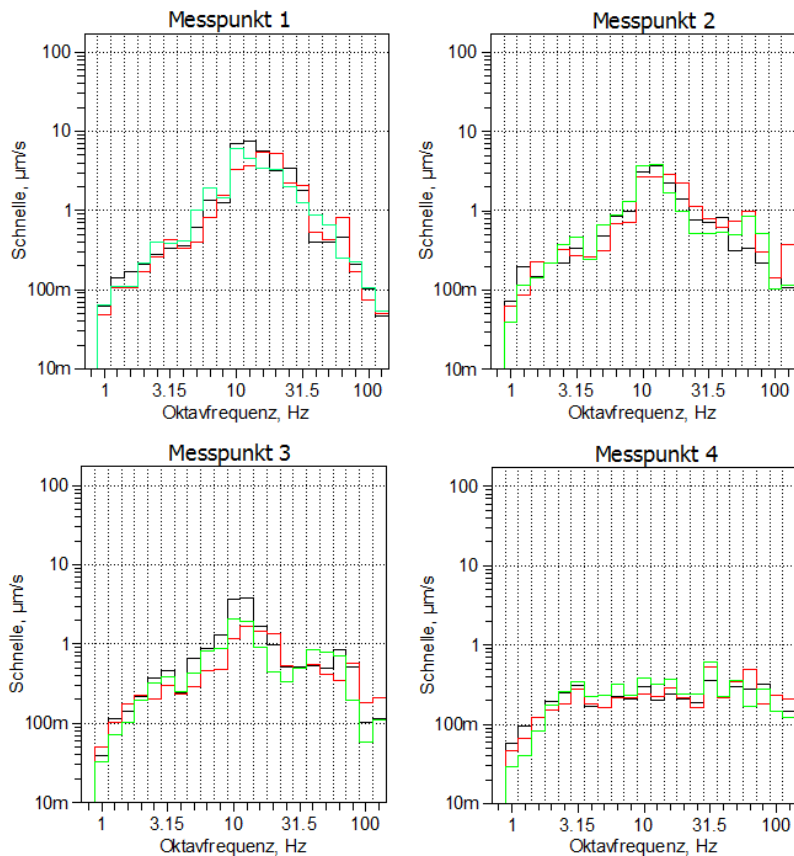


Abbildung C 14. Terz-Spektrum (rms, Bewertung: fast), Personenzugfahrt 5 – Bremsfahrt.

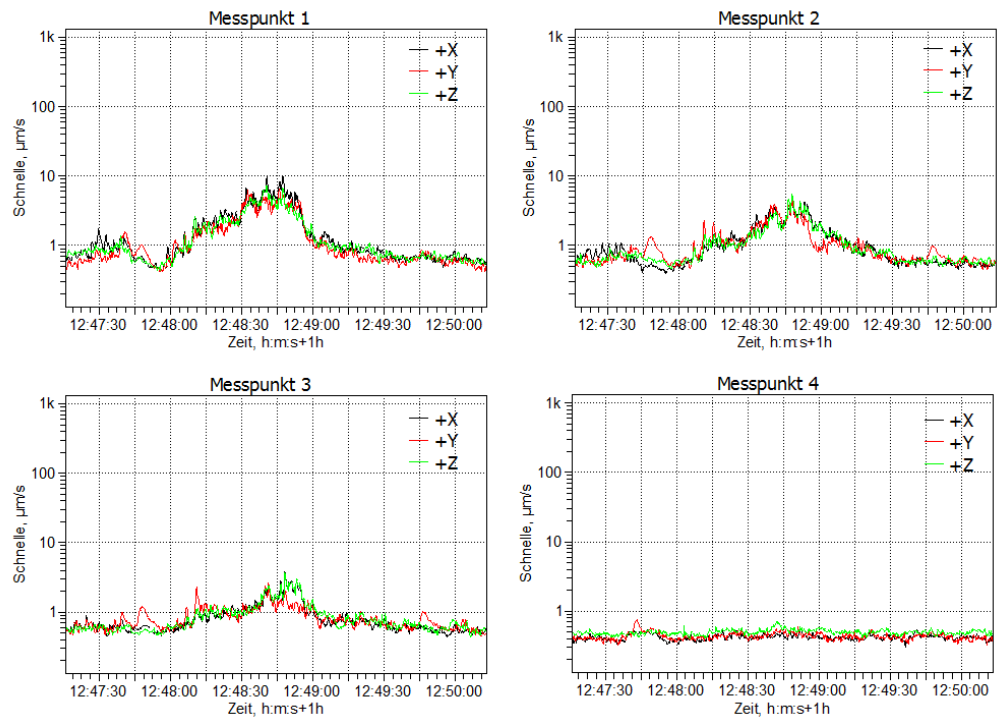


Abbildung C 15. Verlauf der Schwingschnelle (rms, Bewertung: fast) Ereignis: Personenzugfahrt 6 – Bremsfahrt.

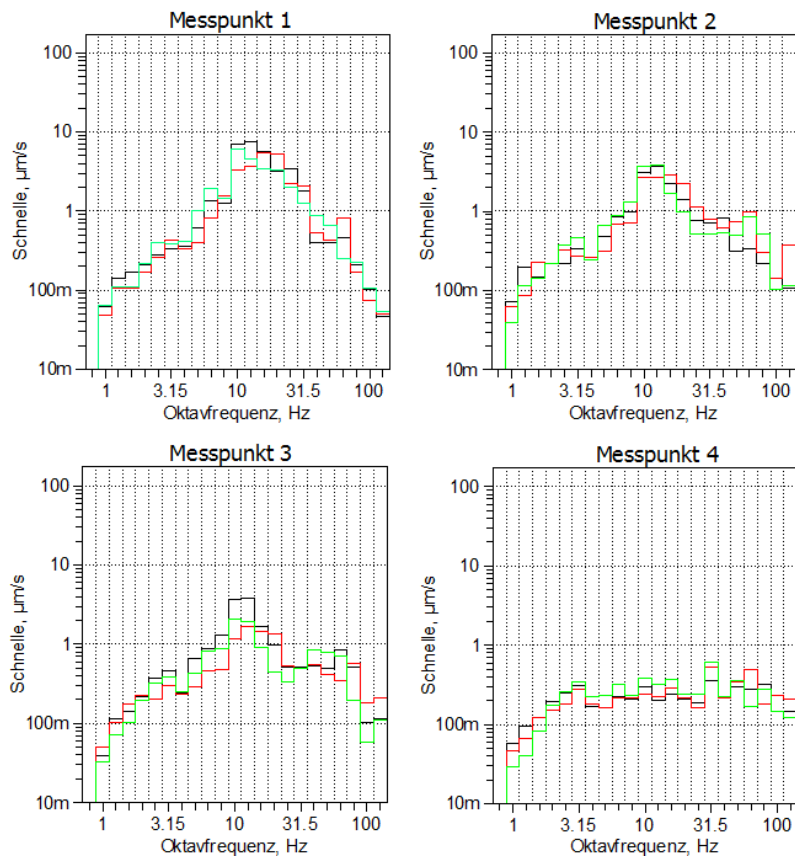


Abbildung C 16. Terz-Spektrum (rms, Bewertung: fast), Personenzugfahrt 6 – Bremsfahrt.

Anhang D

Messdaten Erschütterungen Einzelereignisse 2016

Pegelzeitverläufe der Schwingschnellen je Ereignis und Messpunkt und deren Spektren (max-hold)

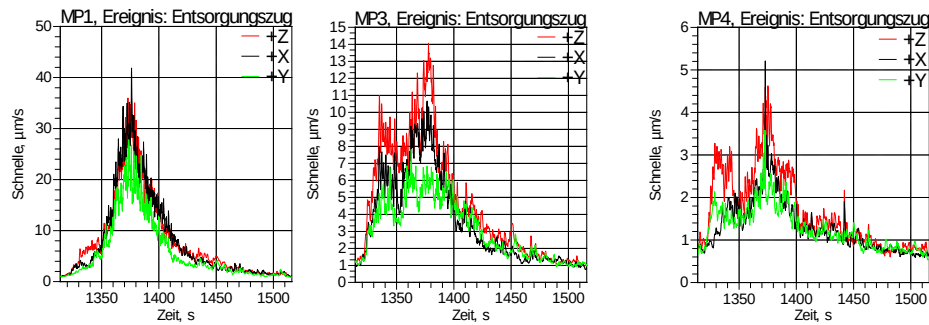


Abbildung D 1. Verlauf der Schwingschnelle (rms, Bewertung: fast), Ereignis Entsorgungszug (Messung 2016), Messpunkte A1, A3 und A4.

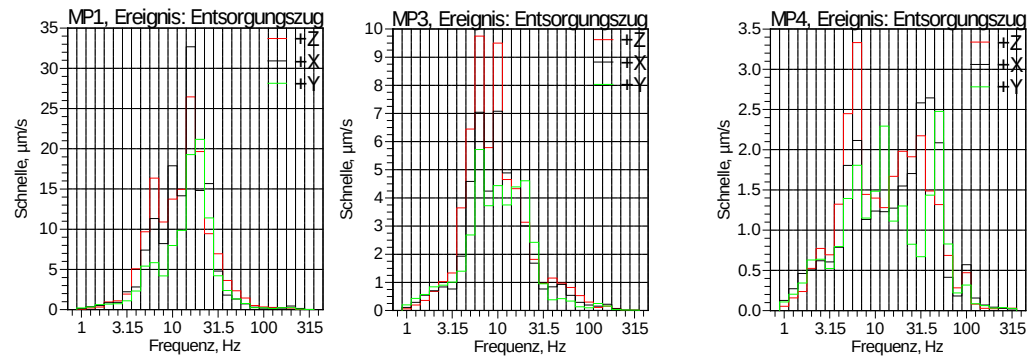


Abbildung D 2. Terz-Spektrum (rms, Bewertung: fast), Ereignis Entsorgungszug (Messung 2016), Messpunkte A1, A3 und A4.

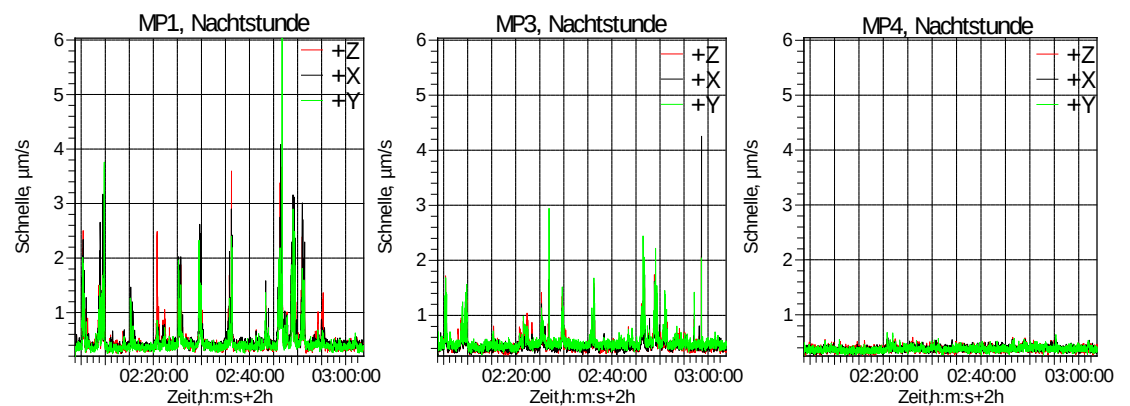


Abbildung D 3. Grundbelastung zwischen 2 Uhr und 3 Uhr (Messung 2016), Messpunkte A1, A3, A4.