



Ehemals Curt-Risch-Institut für Dynamik, Schall- und Messtechnik und Institut für Statik

LEIBNIZ UNIVERSITÄT HANNOVER

Prof. Dr.-Ing. habil. R. Rolfes

Bericht

über

die Ergebnisse der Schwingungsmessungen
auf dem Gelände Schwartauer Landstraße 77 in Lübeck

Hannover, 25.07.2023



Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	2
2	Beurteilungsgrundlage	3
3	Durchführung der Messungen	5
3.1	Messgeräte und Programme.....	5
3.2	Messaufbau	5
3.3	Ablauf der Messung	6
4	Messauswertung.....	6
5	Bewertung.....	7
6	Literaturangaben.....	8
	Anhang.....	9
	Anlage 1– Positionen der Schwinggeschwindigkeitsaufnehmer	9
	Anlage 2 – Zeitverläufe für die Schwinggeschwindigkeitsmessungen.....	10
	Anlage 3 - Unebenheiten in der Straße in unmittelbarer Umgebung.....	13

1 Einleitung

Das *Institut für Statik und Dynamik* der *Leibniz Universität Hannover* hat im Auftrag der *Wernst & Cie Lübeck 1 GmbH & Co KG, Nobistor 16, 22767 Hamburg* auf dem Grundstück der Schwartauer Landstraße 77 für eine geplante Wohnanlage in Lübeck mittels einer Erschütterungsprognose untersucht, ob die prognostizierten Erschütterungen zu Belästigung von Menschen in den geplanten Wohnungen insbesondere auf Grund der im Bau befindlichen festen Fehmarnbeltquerung führen könnten. Die hierfür verwendeten Schwingungsmessungen wurden am 13.07.2023 auf dem Grundstück durchgeführt.



2 Beurteilungsgrundlage

Die DIN 4150-2 [2] definiert Anhaltswerte für die Beurteilung von Erschütterungsimmissionen auf Menschen im Gebäude. Diese sind in Tabelle 2-1 aufgelistet. Verwendung für die Prognose finden die Anhaltswerte für Mischgebiete (Zeile 3).

Die maximale bewertete Schwingstärke KB_{Fmax} wird mit den Anhaltswerten A_u und den A_o verglichen. Ist KB_{Fmax} kleiner oder gleich A_u ist die Norm erfüllt. Liegt KB_{Fmax} über A_o , ist die Norm nicht eingehalten. Wenn KB_{Fmax} zwischen A_u und A_o liegt, darf die Beurteilungsschwingstärke KB_{FTT} nicht größer als A_r sein, damit die Norm eingehalten wird. Für Tags (zwischen 6-22 Uhr) und Nachts (22-6 Uhr) existieren verschiedene Anhaltswerte.

Tabelle 2-1: Anhaltswerte A für die Beurteilung von Erschütterungsimmissionen in Wohnungen und vergleichbar genutzten Räumen DIN 4150-2 [1]

Zeile	Einwirkungsort	Tags			Nachts		
		A_u	A_o	A_r	A_u	A_o	A_r
1	Einwirkungsorte, in deren Umgebung nur gewerbliche Anlagen und gegebenenfalls ausnahmsweise Wohnungen für Inhaber und Leiter der Betriebe sowie für Aufsichts- und Berechtigungspersonen untergebracht sind (vergleiche Industriegebiete BauNVO, § 9).	0,4	6	0,2	0,3	0,6	0,15
2	Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend gewerbliche Anlagen untergebracht sind (vergleiche Gewerbegebiete BauNVO, § 8).	0,3	6	0,15	0,2	0,4	0,1
3	Einwirkungsorte, in deren Umgebung weder vorwiegend gewerbliche Anlagen noch vorwiegend Wohnungen untergebracht sind (vergleiche Kerngebiete BauNVO, § 7, Mischgebiete BauNVO, § 6, Dorfgebiete BauNVO, § 5).	0,2	5	0,1	0,15	0,3	0,07
4	Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend oder ausschließlich Wohnungen untergebracht sind (vergleiche reines Wohngebiet BauNVO, § 3, allgemeine Wohngebiete BauNVO, § 4, Kleinsiedlungsgebiete BauNVO, § 2).	0,15	3	0,07	0,1	0,2	0,05
5	Besonders schutzbedürftige Einwirkungsorte, z. B. in Krankenhäusern, Kurkliniken, soweit sie in dafür ausgewiesenen Sondergebieten liegen.	0,1	3	0,05	0,1	0,15	0,05

In Klammern sind jeweils die Gebiete der Baunutzungsverordnung BauNVO angegeben, die in der Regel den Kennzeichnungen unter Zeile 1 bis 4 entsprechen. Eine schematische Gleichsetzung ist jedoch nicht möglich, da die Kennzeichnung unter Zeile 1 bis 4 ausschließlich nach dem Gesichtspunkt der Schutzbedürftigkeit gegen Erschütterungseinwirkungen vorgenommen ist, die Gebieteinteilung in der BauNVO aber auch anderen planerischen Erfordernissen Rechnung trägt.

Die Anhaltswerte der VDI-Richtlinie 2038-2 [3] geben Aufschluss auf die qualitative Bedeutung der maximal bewerteten Schwingstärke KB_{Fmax} . Die Richtlinie ordnet der maximal bewerteten Schwingstärke ein Komfortniveau zu. In Tabelle 2-2 ist diese Zuordnung für Geschosdecken in Wohn- und Industriebauten aufgelistet. Diese Zuordnung kann als Nachfolge der zurückgezogenen Tabelle der VDI-Richtlinie 2057-3 aus dem Jahre 1986 verstanden werden,

Tabelle 2-2: Anhaltswerte für die Beurteilung von Erschütterungsimmissionen in Wohnungen und vergleichbar genutzten Räumen (VDI 2038-2 [2])

Komfortniveau	KB_{Fmax} -Werte
Hoher Komfort	$KB_{Fmax} < 0,2$
Mittlerer Komfort	$0,2 \leq KB_{Fmax} \leq 1,0$
Geringer Komfort/Unwohlsein	$1,0 \leq KB_{Fmax} \leq 2,5$



welche den Zusammenhang zwischen bewerteter Schwingstärke und subjektiver Wahrnehmung beschrieben hat.

Die Anhaltswerte aus DIN 4150-2 beziehen sich auf die Auswertung von Messungen in fertiggestellten Gebäude. Mittels eines Vergleichs von Messdaten mit einem zuvor festgelegten Grenzwert (angelehnt an die Anhaltswerte) können die Erschütterungsimmissionen bewertet werden.

Bei sich in Planung befindlichen Gebäuden ist eine Messung im Gebäude nicht möglich und das Übertragungsverhalten von den Erschütterungen im Boden auf das Fundament und die Decken noch unbekannt. Einen Anhaltspunkt zur Prognose der Erschütterung im geplanten Gebäude bietet die Richtlinie Ril 820.2050 *Erschütterung und sekundärer Schall* [4] der Deutschen Bahn. Diese wurde anhand erschütterungstechnischer Untersuchungen an Gebäuden in der Nähe von Bahngleisen [4] entwickelt und nutzt zur Abschätzung empirisch ermittelte Übertragungsfunktionen, welche zwischen Stahlbeton- oder Holzbalkendecken unterscheiden. Die Prognose der Übertragungsfunktionen erfolgte in Anlehnung an die Ril 820.2050 [3]. Zusätzlich wird das Expertensystem des Instituts für Statik und Dynamik, welches auf den Erfahrungen des Instituts der letzten Jahrzehnte beruht, eingesetzt. Die prognostizierte maximal bewertete Schwingstärke KB_{Fmax} wird für die anschließende Beurteilung nach DIN 4150-2 verwendet.

Für das zu bewertende Baugrundstück sind die Anhaltswerte der DIN 4150-2 maßgebend. Eine direkte Normerfüllung liegt vor, wenn die maximal bewertete Schwinggeschwindigkeit KB_{Fmax} tagsüber 0,2 und nachts 0,15 nicht überschreitet.

3 Durchführung der Messungen

In der DIN 45669-1 [5] werden die Anforderungen an die gesamte Messkette und insbesondere an die Schwingungsmesser definiert. Das Messverfahren, die Messortwahl, sowie die Ankopplung der Schwingungsaufnehmer wird in DIN 45669-2 [7] festgelegt.

3.1 Messgeräte und Programme

Bei den Schwingungsmessungen wurden vier triaxiale Geschwindigkeitsaufnehmer (siehe Abb. 3-1 und 3.2) als Schwingungsmesser eingesetzt, die ab einer Frequenz von 4,5 Hz unverzerrt messen.



Abbildung 3-1: Am Erdreich angekoppelter Geschwindigkeitsaufnehmer (MP 1)



Abbildung 3-2: Geschwindigkeitsaufnehmer auf dem Parkplatz und Einfahrt (MP 2+MP3)

Die Aufnehmer sind hochempfindlich, können Schwinggeschwindigkeitssignale ab

$$v = 0,001 \text{ mm/s}$$

auflösen und entsprechen den Anforderungen der DIN 45669-1 [6].

Die Signale wurden mit einem Messverstärker (iotech WaveBook/516E) verstärkt und mit dem Programm Medusa (V2.15) aufgezeichnet.

3.2 Messaufbau

Bei der Auswahl der Messpunkte erfolgte nach der Zugänglichkeit. Die Abnahme der Schwingungen mit der Entfernung kann auf dem gesamten Gelände als gleich angesehen werden.

Tabelle 3-1: Messpunkte der Schwinggeschwindigkeitsaufnehmer

BEZEICHNUNG	ORT
MP 1	Erdreich, Grünstreifen, 2m Abstand zur Straße
MP 2	Gepflasterte Einfahrt, 10m Abstand zur Straße
MP 3	Gepflasterter Parkplatz, 25m Abstand zur Straße
MP 4	Gepflasterte Weg neben Haus, 45m Abstand zur Straße

Um die ortstypische Erschütterungspegelabnahme messtechnisch zu erfassen, wurden an der Straße die Erschütterungen auf der Halbraumoberfläche (Erdreich) gemessen. Die weiteren Messpunkte befand sich auf der gepflasterten Einfahrt. Die genaue Position der Messpunkte ist in Tabelle 3-1 aufgelistet und in der Anlage 1 dargestellt.

Die Koppelung der Schwingungsaufnehmer mit dem Erdreich erfolgte nach DIN 45669-2 [6] mittels eines Erdspießes (siehe Abb. 3-1). Auf der gepflasterten Einfahrt ist nach DIN 45669-2 [6] durch das Eigengewicht und die Bauart des Sensors keine besondere Befestigung des Schwingungsaufnehmers notwendig (Abbildung 3-2).

3.3 Ablauf der Messung

Die Schwingungsmessung erfolgte am 13.07.2023 von 10.30 bis 12.30. Während der Messung wurden alle auftretenden Verkehrereignisse (Zugvorbeifahrten, Zugtyp und Gleis, Bus und LkW) protokolliert. Es wurden während der Messung 8 Regionalbahnen, 1 Güterzug, 5 Busse und 6 LkW gemessen.

4 Messauswertung

In dem Messzeitraum wurden drei verschiedene signifikante Verkehrereignistypen (Güterzug, Bus und LkW) gemessen. Zeitverläufe und Frequenzspektren der Ereignisse sind im Anhang in der Anlage 2 dargestellt. Von den Regionalbahnen konnten keine Erschütterungen auf dem Grundstück festgestellt werden.

In Tabelle 4-1 werden die maximalen und minimalen Schwinggeschwindigkeitskomponenten getrennt nach Ereignis und Richtung aufgelistet. Dabei ist zu beachten, dass die horizontale Richtung mit x und y gekennzeichnet sind. Die vertikale Richtung wird mit z bezeichnet.



Tabelle 4-1: Maximale Schwinggeschwindigkeiten in mm/s (siehe auch Anlage 2)

Bus

	min v_x	max v_x	min v_y	max v_y	min v_z	max v_z
MP 1	-0,24	0,21	-0,18	0,18	-0,28	0,39
MP 2	-0,12	0,14	-0,09	0,09	-0,22	0,25
MP 3	-0,11	0,11	-0,10	0,10	-0,23	-0,29
MP 4	-0,10	0,09	-0,03	0,04	-0,03	0,04

LkW

	min v_x	max v_x	min v_y	max v_y	min v_z	max v_z
MP 1	-0,34	0,33	-0,34	0,42	-0,67	0,59
MP 2	-0,23	0,22	-0,12	0,10	-0,41	0,40
MP 3	-0,11	0,11	-0,10	0,10	-0,23	-0,19
MP 4	-0,07	0,08	-0,05	0,07	-0,21	0,20

Güterzug

	min v_x	max v_x	min v_y	max v_y	min v_z	max v_z
MP 1	(-0,26)	(0,25)	-0,19	0,18	-0,20	0,11
MP 2	-0,05	0,05	-0,05	0,05	-0,07	0,08
MP 3	-0,03	0,04	-0,03	0,03	-0,06	0,07
MP 4	-0,03	0,03	-0,03	0,03	-0,06	0,05

5 Bewertung

Für das Grundstück liegt die maximal bewertete Schwinggeschwindigkeit auf Grund von Bahnverkehr unterhalb $KB_{Fmax} < 0,15 \frac{mm}{s}$. Damit liegt der Wert unterhalb des unteren Anhaltswerte A_U der DIN 4150-2 [1]. Die Norm wird somit auch unabhängig vom Bahnverkehr eingehalten. Diese Prognose stützt sich auf die Geschwindigkeit, Bahnlänge und Zustand der Bahnanlage, wie sie zurzeit vorliegt. Aufgrund des sehr niedrigen Niveaus der Erschütterung durch Bahnverkehr ist davon auszugehen, dass der Ausbau nach dem neusten Stand der Technik mit den geplanten Minderungsmaßnahmen an der Quelle nicht dazu führen wird, dass die Grenzwerte durch Bahnverkehr durch Zunahme des Güterverkehrs überschritten werden, wenn in unmittelbarer Nähe keine neuen Weichen eingefügt werden. Als Vorsichtsmaßnahme wird empfohlen die Deckenfrequenzen unterhalb von 15 Hz zu vermeiden.



Für das Grundstück liegt die die maximal bewertete Schwinggeschwindigkeit auf Grund von Straßenverkehr im ungünstigsten Fall oberhalb von $KB_{Fmax} > 0,3 \frac{mm}{s}$, sodass je nach Häufigkeit, Last und Geschwindigkeit der LkW's die Norm nicht erfüllt sein könnte. Die Ursache liegt an Unebenheiten der Straße in unmittelbarer Nähe des Grundstücks (siehe Anlage 3). Wir empfehlen daher diese zu reparieren, damit die Erschütterungen minimiert werden.

Nach der VDI-Richtlinie 2038-2 [2] kann für Gebäude von einem mittleren Komfortniveau ausgegangen werden. Unabhängig vom Straßenverkehr von einem hohen Komfortniveau.

6 Literaturangaben

- [1] DIN 4150-2; Juni 1999. *Erschütterungen im Bauwesen - Teil 2: Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden*
- [2] VDI 2038-2; Januar 2013. *Gebrauchstauglichkeit von Bauwerken bei dynamischen Einwirkungen, Untersuchungsmethoden und Beurteilungsverfahren der Baudynamik, Schwingungen und Erschütterungen – Prognose, Messung, Beurteilung und Minderung*
- [3] Ril 820.2050; September 2017. *Erschütterungen und sekundärer Luftschall*
- [4] Erschütterungstechnische Untersuchungen zur Ermittlung der gebäudespezifischen Übertragungsfunktionen, A. Saind, 2003
- [5] DIN 45669-1; September 2010. *Messung von Schwingungsimmissionen, Teil 1: Schwingungsmesser - Anforderungen, Prüfungen*
- [6] DIN 45669-2; Juni 2005. *Messung von Schwingungsimmissionen, Teil 2: Messverfahren*

Hannover, den 25.07.2023

Anhang

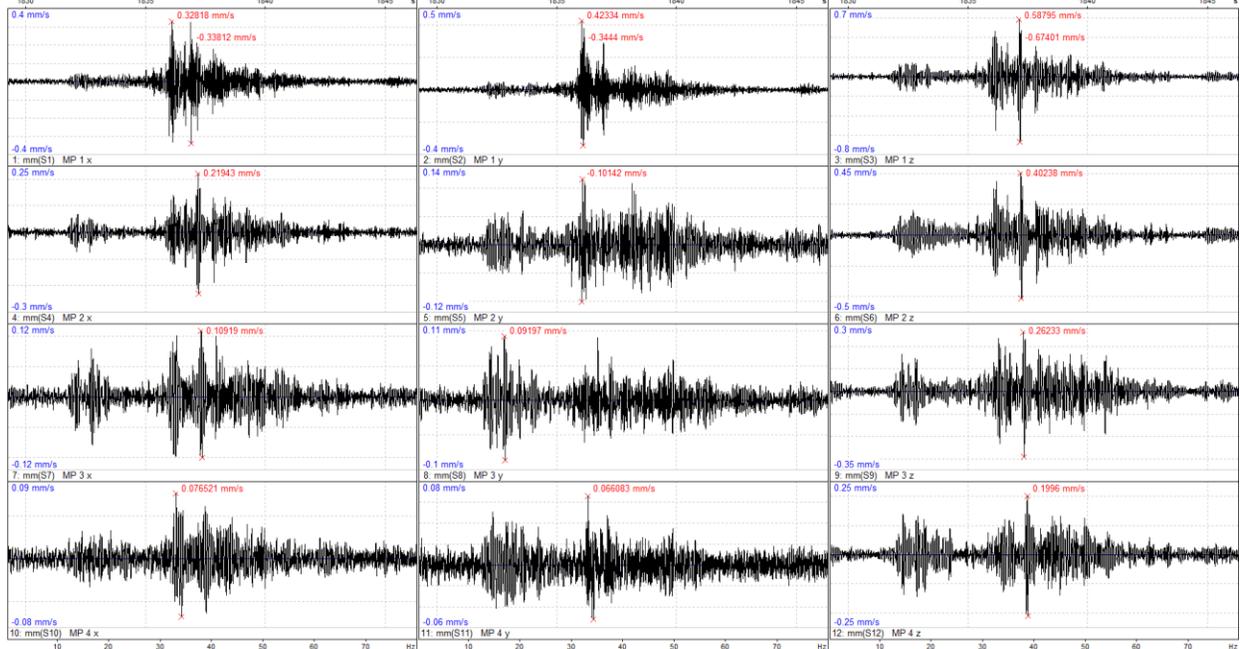
Anlage 1– Positionen der Schwinggeschwindigkeitsaufnehmer



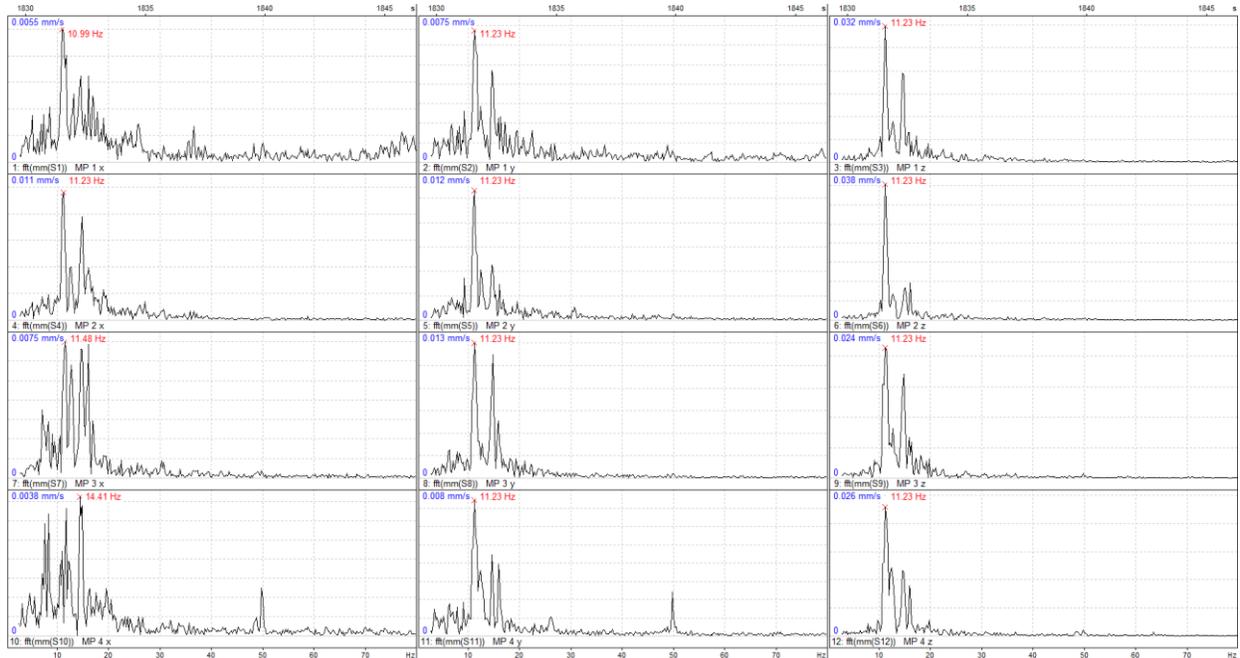
Anlage 2 – Zeitverläufe für die Schwinggeschwindigkeitsmessungen

LKW Fahrt Straße

Zeitverlauf: Zeile 1: MP 1 (x,y,z) Grünstreifen Straße – 123 m vom Gleis, Zeile 2: MP 2 (x,y,z) Einfahrt – 131 m vom Gleis, Zeile 3: MP 3 (x,y,z) Parkplatz - 146 m vom Gleis, Zeile 4: MP 4 (x,y,z) Neben dem Haus – 166 m vom Gleis



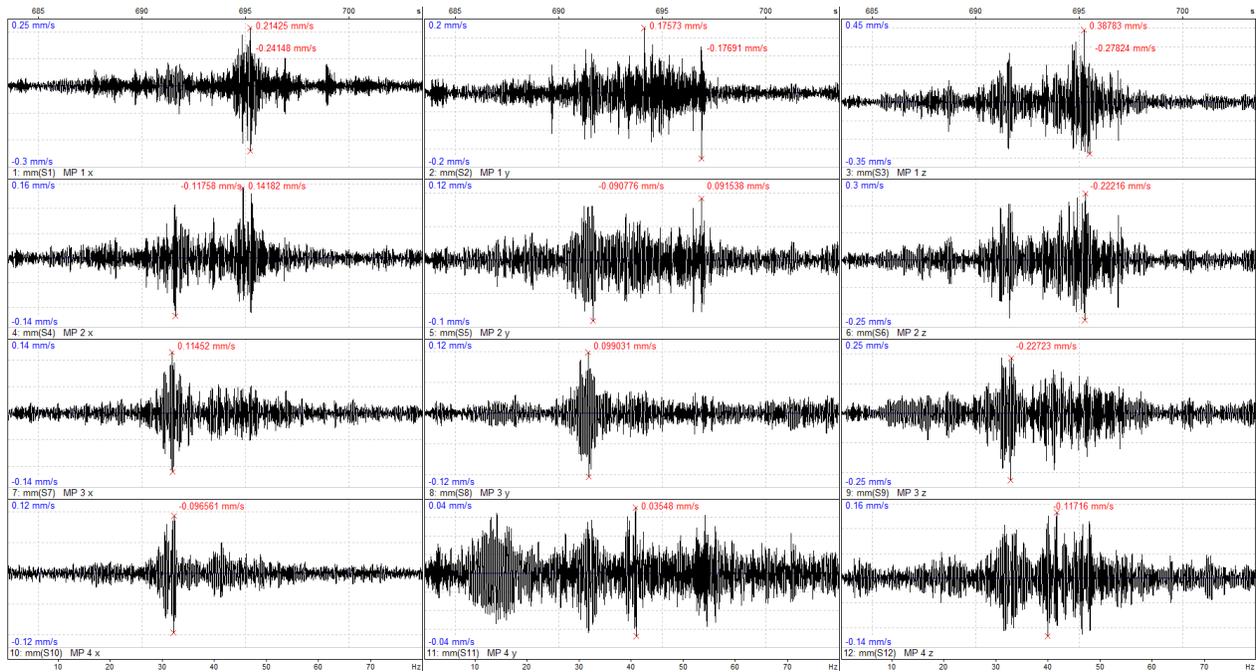
Frequenzspektrum: Zeile 1: MP 1 (x,y,z) Grünstreifen Straße – 123 m vom Gleis, Zeile 2: MP 2 (x,y,z) Einfahrt – 131 m vom Gleis, Zeile 3: MP 3 (x,y,z) Parkplatz - 146 m vom Gleis, Zeile 4: MP 4 (x,y,z) Neben dem Haus – 166 m vom Gleis



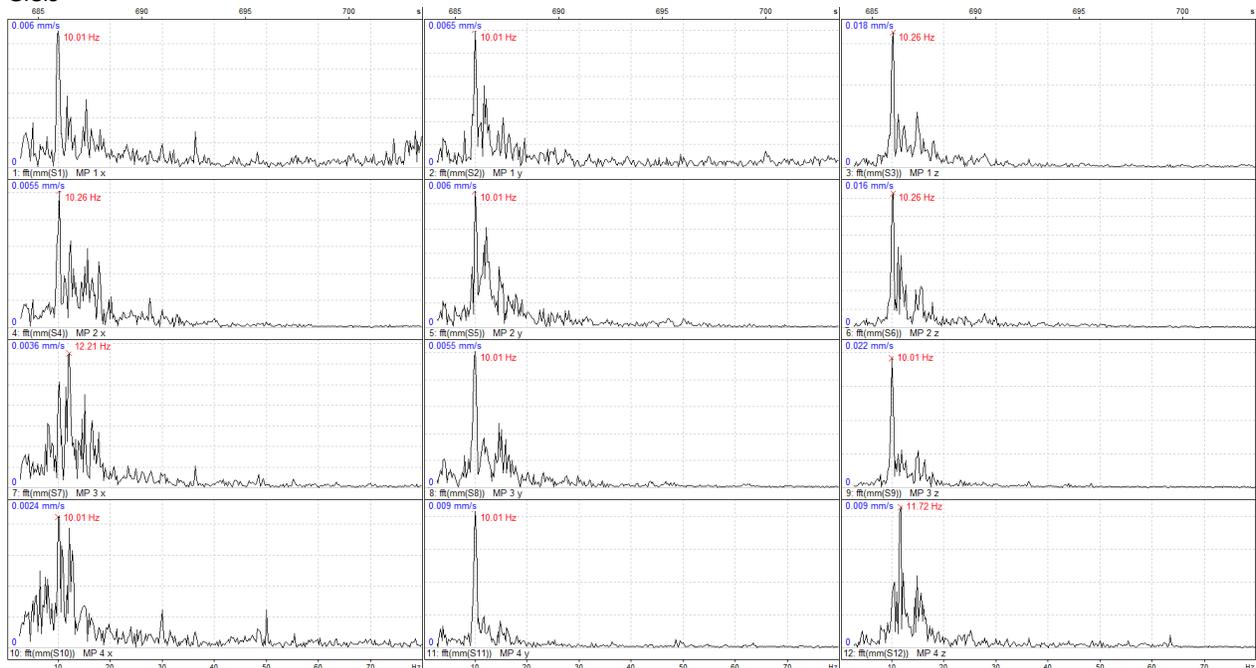


Straßenverkehr: Bus

Zeitverlauf: Zeile 1: MP 1 (x,y,z) Grünstreifen Straße – 123 m vom Gleis, Zeile 2: MP 2 (x,y,z) Einfahrt – 131 m vom Gleis, Zeile 3: MP 3 (x,y,z) Parkplatz - 146 m vom Gleis, Zeile 4: MP 4 (x,y,z) Neben dem Haus – 166 m vom Gleis



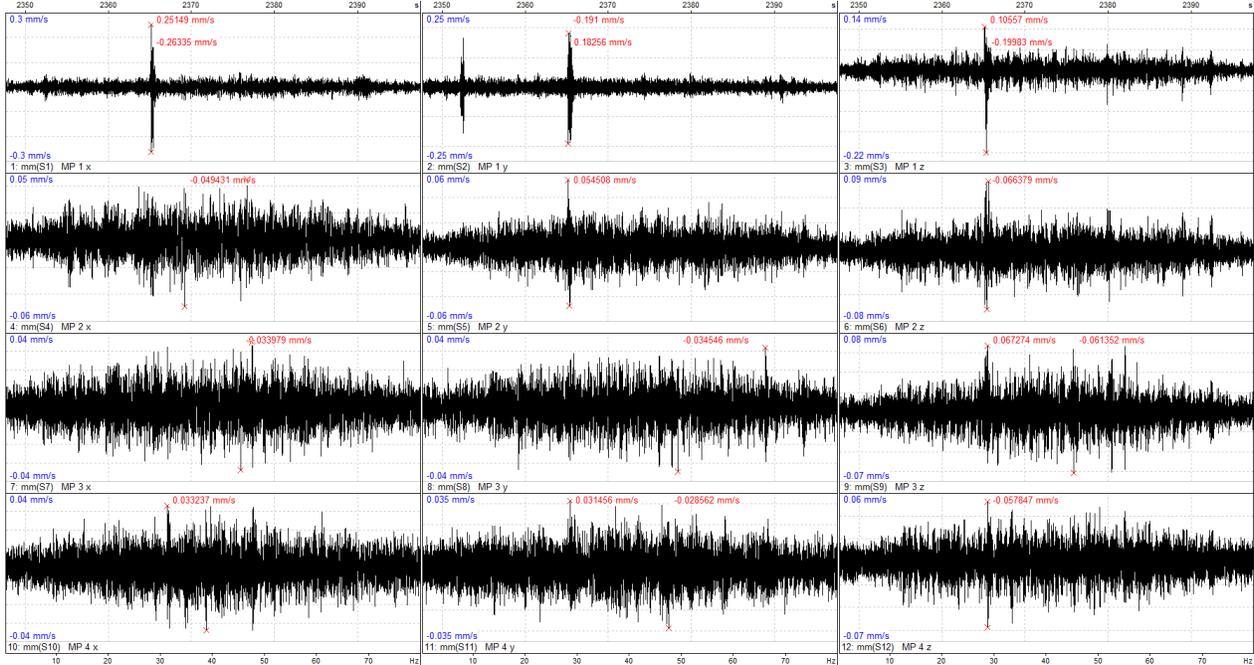
Frequenzspektrum: Zeile 1: MP 1 (x,y,z) Grünstreifen Straße – 123 m vom Gleis, Zeile 2: MP 2 (x,y,z) Einfahrt – 131 m vom Gleis, Zeile 3: MP 3 (x,y,z) Parkplatz - 146 m vom Gleis, Zeile 4: MP 4 (x,y,z) Neben dem Haus – 166 m vom Gleis



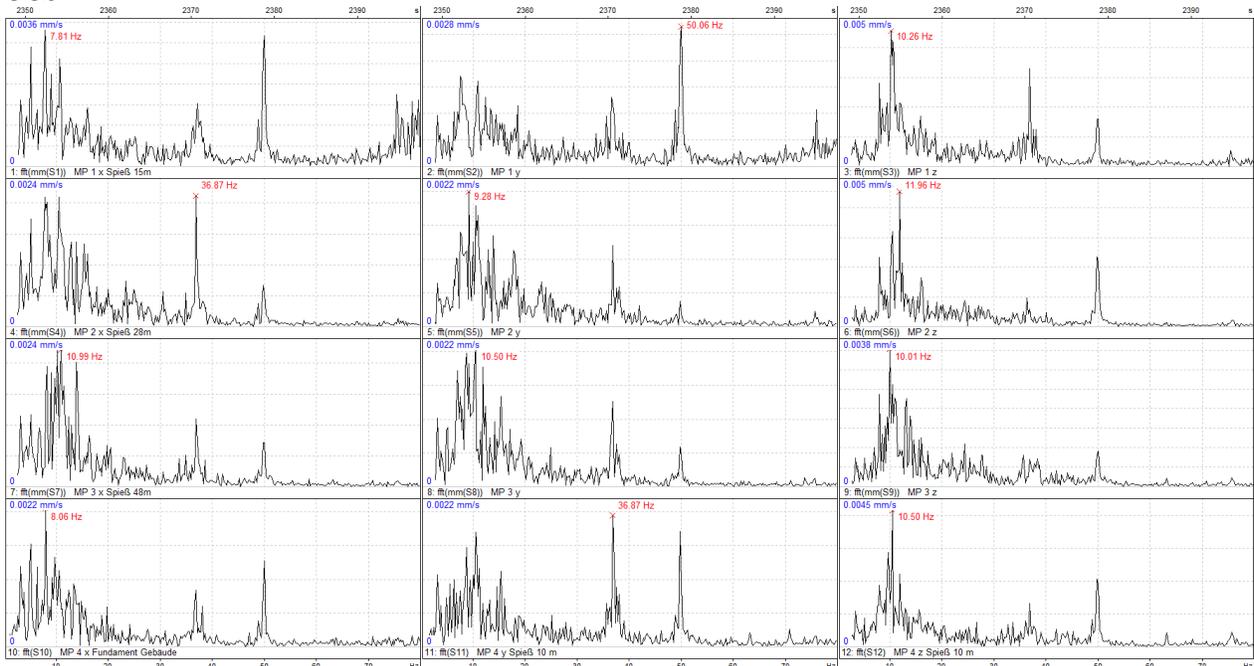


Bahnverkehr: Güterzug

Zeitverlauf, Zeile 1: MP 1 (x,y,z) Grünstreifen Straße – 123 m vom Gleis, Zeile 2: MP 2 (x,y,z) Einfahrt – 131 m vom Gleis, Zeile 3: MP 3 (x,y,z) Parkplatz - 146 m vom Gleis, Zeile 4: MP 4 (x,y,z) Neben dem Haus – 166 m vom Gleis



Frequenzspektrum, Zeile 1: MP 1 (x,y,z) Grünstreifen Straße – 123 m vom Gleis, Zeile 2: MP 2 (x,y,z) Einfahrt – 131 m vom Gleis, Zeile 3: MP 3 (x,y,z) Parkplatz - 146 m vom Gleis, Zeile 4: MP 4 (x,y,z) Neben dem Haus – 166 m vom Gleis





Anlage 3 - Unebenheiten in der Straße in unmittelbarer Umgebung

