

Bauvorhaben Neugraben-Fischbek 76

Erschütterungsprognose bei Schienenverkehr Auswertung der Messungen vom 21.09.2021

Auftraggeber: Garbe Immobilien-Projekte GmbH
Versmannstraße 2, 20457 Hamburg

SAGA Siedlungs-Aktiengesellschaft Hamburg
Poppenhusenstraße 2, 22305 Hamburg

Berichtsnummer: X1612.001.01.005

Dieser Bericht umfasst 10 Seiten Text und 21 Seiten Anhang.



Akkreditierung nach
DIN EN ISO/IEC 17025
für die Prüfarten Geräusche,
Erschütterungen und Bauakustik

Höchberg, 25.04.2024



M. Sc. Silke Grabau
Bearbeitung



Dr.-Ing. Markus Richter
Prüfung und Freigabe

Bekanntgegebene
Messstelle nach
§ 29b BlmSchG
für Geräusche und
Erschütterungen

VMPA-anerkannte Schall-
schutzprüfstelle
nach DIN 4109,
VMPA-SPG-210-04-BY

Änderungsindex

Version	Datum	Geänderte Seiten	Hinzugefügte Seiten	Erläuterungen
001	13.10.2021	-	-	Erstellung
002	26.11.2021	4	-	Einbindung neuer Planungsstand hinsichtlich Kita
003	14.03.2022	3 und 4	-	Angabe der Quelle der Zugzahlen ([08])
004	09.05.2022	3, 4 und A2	-	geringfügig geänderte Lagepläne
005	25.04.2024	A 2 bis A6	-	Anhang A redaktionell überarbeitet

Inhaltsverzeichnis

1	Aufgabenstellung	3
2	Unterlagen, Abkürzungen	3
2.1	Unterlagenverzeichnis	3
2.2	Abkürzungsverzeichnis	3
3	Situation vor Ort, Durchführung der Messungen.....	4
4	Anforderungen zum Erschütterungsschutz.....	5
5	Auswertung, Erschütterungsprognose.....	5
5.1	Auswertung nach der vereinfachten skalaren Prognose	6
5.2	Auswertung nach der spektralen Prognose	7
5.3	Auswertung der Prognose des sekundären Luftschalls.....	8
6	Beurteilung, Fazit.....	9

Anhänge

Anhang	Inhalt	Seite
A	Allgemeines, Grundlagen	A1 – A6
B	Messergebnisse, Darstellung im Zeit- und Frequenzbereich	B1 – B15

1 Aufgabenstellung

In Neugraben-Fischbek soll ein neues Gelände für Wohnbebauung erschlossen werden. Das Gelände „Neugraben-Fischbek 76“ ist in drei Grundstücke unterteilt, von denen eines der SAGA Siedlungs-Aktiengesellschaft Hamburg (SAGA) und zwei dem Landesbetrieb Immobilienmanagement und Grundvermögen (LIG) gehören. Der LIG wird vertreten durch die Garbe Immobilien-Projekte GmbH (Garbe). Das Baugrundstück befindet sich südlich angrenzend an die Bahnlinie Hamburg-Neugraben – Fischbek (Hamburg - Buxtehude). Daher wurde Wölfel Engineering von den Auftraggebern Garbe und SAGA mit Erschütterungsmessungen nach DIN 4150 (vgl. [01]) beauftragt, um vorab die Einwirkungen infolge des Schienenverkehrs auf die Neubauten zu ermitteln.

Im vorliegenden Bericht sind die Durchführung und die wesentlichen Ergebnisse der Messungen vom 21.09.2021 sowie deren Beurteilung gemäß Norm beschrieben.

2 Unterlagen, Abkürzungen

2.1 Unterlagenverzeichnis

Nr.	Dokument	Bezeichnung / Beschreibung	
[01]	DIN 4150	Erschütterungen im Bauwesen	
	[01a]	Teil 1: Vorermittlung von Schwingungsgrößen	2001-06
	[01b]	Teil 2: Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden	1999-06
	[01c]	Teil 3: Einwirkungen auf bauliche Anlagen	2016-12
[02]	DIN 45669	Messung von Schwingungsimmissionen	
	[02a]	Teil 1: Schwingungsmesser, Anforderungen, Prüfung	2020-06
	[02b]	Teil 2: Messverfahren	2005-06
[03]	DIN 45672	Schwingungsmessung in der Umgebung von Schienenverkehrswegen	
	[03a]	Teil 1: Messverfahren für Schwingungen	2018-02
	[03b]	Teil 2: Auswerteverfahren	1995-07
[04]	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit	6. Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundesimmissionschutzgesetz – Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm TA-Lärm	1998-08
[05]	DB Netze	Richtlinie 820 „Grundlagen des Oberbaus“; Ril 820.2050 „Erschütterungen u. sekundärer Luftschall; Aktualisierung 08	2017-09
[06]	VDI 3837	Erschütterungen in der Umgebung von oberirdischen Schienenverkehrswegen; Spektrales Prognoseverfahren	2013-01
[07]	Angaben per Email/ Telefon	Garbe Immobilien-Projekt GmbH Lagepläne des Bauvorhabens	2022-04
[08]	Zugzahlen	Deutsche Bahn AG, Zugzahlen für die Strecke 1720 Abschnitt Hamburg-Neugraben bis Buxtehude	2019-10

2.2 Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Bedeutung
WA/MI/GE	Wohn-/Misch-/Gewerbegebiet gemäß Baunutzungsverordnung (BauNVO)
BV	Bauvorhaben
UG, EG, OG	Untergeschoss, Erdgeschoss, Obergeschoss
GOK	Geländeoberkante
MP	Messposition bzw. Messpunkt
v_{max} / v_{0-P} [mm/s]	Maximale Schwinggeschwindigkeit / Amplitude der Schwinggeschwindigkeit
$K_B(t)$ [-]	bewertete Schwingstärke gemäß DIN 4150-2 ([01b]), per Definition dimensionslos

Abkürzung	Bedeutung
KB _{Fmax} [-]	Taktmaximalwert der bewerteten Schwingstärke nach [01b]
KB _{FTF} [-]	Beurteilungsschwingstärke, nach [01b] unter Berücksichtigung d. Einwirkungsdauer

3 Situation vor Ort, Durchführung der Messungen

Am 21.09.2021 hat Wölfel Engineering Freifeldmessungen auf dem Baugrundstück „Neugraben-Fischbek 76“, gelegen am Ohrnsweg bzw. am Fischbeker Heuweg, durchgeführt und die Erschütterungssimmissionen infolge Schienenverkehr erfasst. Zum Zeitpunkt der Messung fanden noch keine Bauarbeiten statt.

Auf dem Grundstück 2 (LIG), welches am nächsten zum Gleisbett liegt, soll ein langer Riegel mit insgesamt 64 Wohneinheiten parallel zum Gleisbett entstehen (siehe Anhang A, Seite A2). Auf dem Grundstück 1 (LIG) sind vier Wohnhäuser á 16 bis 28 Wohneinheiten geplant. Auf dem Grundstück 3 (SAGA) ist ein L-förmiges Wohnhaus mit insgesamt 40 Wohneinheiten vorgesehen. Nach derzeitigem Planungsstand (November 2021) soll eine Kita in dem Gebäude auf Grundstück 3 vorgesehen werden. Die Bauweise der neun Wohngebäude wird erst im Zuge eines Architekturwettbewerbs festgelegt und ist zum aktuellen Stand noch nicht bekannt.

Zur Erfassung der Erschütterungssimmissionen wurden insgesamt sechs Messpunkte (MP) ausgewählt. MP 1 dient der Erfassung der Erschütterungsemision in unmittelbarer Nähe des Gleisbettes. Die weiteren fünf Messpunkte wurden im Bereich der späteren Gebäudegrundrisse positioniert. Die Messaufnehmer auf den Baugrundstücken wurden in verschiedenen Abständen zur Gleisanlage installiert und an das Erdreich angekoppelt. Genauere Informationen zu der Lage der Messpunkte und deren Ankopplungsverfahren nach DIN 45669-2 [02b] sind im Anhang A aufgeführt.

Die Wahl des Ankopplungsverfahrens ergab sich durch die anstehende Oberfläche im jeweiligen Bereich: Das Baugrundstück ist im nördlichen Bereich zum Gleisbett hin bewaldet; hier steht ein gewachsener Boden an, in dem Erdspieße für die Messpunkte MP 1 und MP 2 eingebracht werden konnten. Der mittlere Bereich des Grundstückes liegt frei; hier wurde an einigen Stellen eine alte Asphaltenschicht vorgefunden. Die Messaufnehmer für die Messpunkte MP 3 und MP 4 konnten direkt auf den Asphalt gesetzt werden. Zu deren Ankopplung wurden gut erhaltene Asphaltstellen ausgewählt. Im südlichen Bereich sind künstlich Erdwälle aufgeschüttet. Messpunkt MP 5 wurde vor einem Erdwall positioniert und konnte über einen Erdspieß in den lockeren Sand angekoppelt werden. Auf dem Grundstück 3 (SAGA) wurde der Messaufnehmer für Messpunkt MP 6 auf einen Kantstein des gepflasterten Parkplatzes gesetzt. Weitere Informationen zur verwendeten Messtechnik, Signalverarbeitung und Durchführung, sowie eine Fotodokumentation der Messpunkte sind Anhang A zu entnehmen.

Die von der Deutschen Bahn genannten Zugzahlen [08] für den betroffenen Streckenabschnitt sind in Tabelle 3.1 aufgeführt. Da die S-Bahn-Haltstelle Fischbek nur ca. 300 m westlich des Baugrundstückes liegt, befindet sich die S-Bahn bei der Vorbeifahrt am Baugrundstück entweder im Beschleunigungs- oder Abbremsvorgang. Die Fahrgeschwindigkeit der S-Bahn im Grundstücksbereich ist entsprechend gering. Der Regionalverkehr passiert das Grundstück hingegen in voller Geschwindigkeit, die laut [08] bis zu 140 km/h betragen kann. Die erlaubte Fahrgeschwindigkeit von Güterzügen auf dieser Strecke beträgt 100 ÷ 120 km/h [08].

Tabelle 3.1: Zugzahlen für die Strecke Hamburg-Neugraben bis Buxtehude, gemäß [08]

Zugart	Zugzahlen ÷ Prognose Jahr 2030	
	Tag	Nacht
S-Bahn (S)	124	16
Regionalbahn (RB)	32	6
Güterzüge (GZ)	13	9

4 Anforderungen zum Erschütterungsschutz

Die Beurteilung von Erschütterungen bei Einwirkungen auf Gebäude erfolgt i.d.R. gemäß DIN 4150 („Erschütterungen im Bauwesen“ [01]). Deren Teil 1 enthält Prognose-Modelle für die Erschütterungsausbreitung und typische Einwirkungen infolge verschiedener Verursacher. Teil 2 gibt Anhaltswerte zur Vermeidung möglicher Belästigung von Personen, Teil 3 gibt weitere Anhaltswerte zur Vermeidung möglicher Schädigungen der Bausubstanz an.

DIN 4150 Teil 2 beurteilt die Belästigung von Anwohnern aufgrund der auf den Decken auftretenden maximalen bewerteten Schwingstärken sowie deren Einwirkungsdauer. Die Norm bezieht sich dabei auf Wohnungen bzw. Aufenthaltsräume. Auf Anhangseite A6 sind die Anhaltswerte gemäß Tabelle 3.1 der Norm genannt, dabei wird die Gebietseinstufung gemäß BauNVO berücksichtigt: Für ein Gewerbegebiet werden höhere Werte genannt als für ein Misch- oder Wohngebiet, d.h. für Betriebswohnungen in GE-Gebieten ist der Schutzzanspruch geringer als für Wohnungen in MI/WA-Gebieten.

In DIN 4150 Teil 3 werden Anhaltswerte zur Beurteilung der Einwirkungen auf die Bausubstanz genannt. Da die Erschütterungen infolge Schienenverkehr i.d.R. zu gering sind, um Schäden an Gebäuden zu verursachen, wird an dieser Stelle nicht weiter auf diese Anforderungen eingegangen. Darüber hinaus sind bei Einhaltung der Anhaltswerte aus DIN 4150-2 die Anforderungen der DIN 4150-3 ohnehin erfüllt. Es erfolgt jedoch eine abschließende Beurteilung für die prognostizierten Werte zu Abschluss des Berichts.

Da auf den Baugrundstücken Wohngebäude entstehen sollen, werden im Folgenden die Vorgaben für „Allgemeine Wohngebiete“ (WA) herangezogen, da diese am ehesten der späteren Nutzung entsprechen. In Tabelle 4.1 sind die Werte für „Allgemeine Wohngebiete“ (WA) genannt.

Tabelle 4.1: Anhaltswerte zur Beurteilung von Erschütterungsimmissionen nach [01b] (vgl. Tab. A1)

Zeile	Einwirkungsort	Tags			Nachts		
		A _u	A _o	A _r	A _u	A _o	A _r
4	Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend oder ausschließlich Wohnungen untergebracht sind [...]	0,15	3	0,07	0,1	0,6 *)	0,05

*) abweichender Anhaltswert für Erschütterungen infolge Schienenverkehr nach Kap. 6.5.3.5 der Norm

5 Auswertung, Erschütterungsprognose

Während der Tagesmessung am 21.09.2021 wurden Erschütterungssignale während 14 Vorbeifahrten von S-Bahnen (S), 6 Vorbeifahrten von Regionalzügen (RE) und einer Vorbeifahrt eines Güterzuges (GZ) aufgezeichnet. Diese Daten werden im Folgenden für die Prognose der in den geplanten Neubauten zu erwartenden Erschütterungsimmissionen verwendet. In Anhang B sind ausgewählte Signale der Messungen im Zeit- und Frequenzbereich dargestellt.

In einem ersten Schritt werden für die Prognose die im Freifeld aufgezeichneten Schwinggeschwindigkeiten vereinfachend mit skalaren Übertragungsfaktoren multipliziert, um die Übertragung zwischen Erdreich – Fundament und zwischen Fundament – Geschossdecke nachzubilden. Gemäß DIN 4150-1 kann für die Erschütterungsübertragung vom Boden auf das Gebäudefundament i.d.R. eine Abminderung mit Übertragungsfaktor $k_{B-F} = 0,5$ angesetzt werden. Bei einer Prognose der Deckenschwingungen muss die Übertragung vom Fundament auf die Geschossdecken berücksichtigt werden: Für die breitbandige Erregung aus Schienenverkehr hat sich in vertikaler Richtung aus eigenen Erfahrungswerten ein Faktor von $k_{F-D} = 5$ als repräsentativ erwiesen. Für die horizontalen Messrichtungen ergeben sich geringere Überhöhungen zu den Geschossdecken hin, dazu setzen wir nach eigenen Erfahrungen einen Faktor von $k_{F-D} = 2$ an.

Für die Prognose werden die ermittelten Signale mit den Faktoren aus Gleichung (1) multipliziert.

$$v_{Geschossdecke, OG} = k_{B-F} \cdot k_{F-D} \cdot v_{Erdreich} \quad (1)$$

Die prognostizierten, in den Räumen zu erwartenden Schwinggeschwindigkeiten $v_{Geschossdecke}$ sind nun nach DIN 4150-2 zu beurteilen; dementsprechend sind die in Tabelle 4.1 genannten Anhaltswerte zur Beurteilung der Wirkung von Erschütterungsimmisionen einzuhalten. Ist die maximale bewertete Schwingstärke $KB_{Fmax} \leq A_u$, so sind die Anforderungen der Norm eingehalten und eine erhebliche Belästigung der Menschen im Gebäude ist nicht zu erwarten. Falls $KB_{Fmax} > A_o$ ist, sind die Anforderungen nicht eingehalten. Für den Fall $A_u < KB_{Fmax} \leq A_o$ sind erhebliche Belästigungen infolge von Erschütterungen nur dann nicht zu erwarten, wenn in einem detaillierteren Nachweis gezeigt werden kann, dass die sogenannte Beurteilungs-Schwingstärke $KB_{FTr} < A_r$ ist. Um die Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FTr} nach Gleichung (2) ermitteln zu können, muss die Einwirkungszeit der Erschütterungsimmisionen T_E bekannt sein. Diese ergibt sich bei Erschütterungen infolge Schienenverkehr aus den Zugzahlen (siehe Tabelle 3.1) und der jeweiligen Passierdauer (hier: $t \leq 30$ s).

$$KB_{FTr} = KB_{FTm} \cdot \sqrt{\frac{T_E}{T_R}} \quad \text{mit } T_R = 16 \text{ h (tags) bzw. } T_R = 8 \text{ h (nachts)} \quad (2)$$

5.1 Auswertung nach der vereinfachten skalaren Prognose

In Tabelle 5.1 ist die Beurteilung der Messergebnisse gemäß Norm für die Messpunkte detailliert dargestellt. Für die Beurteilung werden nur die Messpunkte betrachtet, die im Bereich der geplanten Neubauten positioniert wurden (Messpunkt 1 entfällt). Von der Auswertung ausgeschlossen wurde darüber hinaus Messpunkt 5, da dieser aufgrund technischer Störungen nicht alle Vorbeifahrten aufzeichnen konnte.

Tabelle 5.1: Beurteilung der prognostizierten Erschütterungen $KB_{F\max}$ [-] und $KB_{FT\text{r}}$ [-] nach vereinfachter Methode

Tabelle 5.1 zeigt, dass an allen Messpunkten in z-Richtung der KB_{Fmax} -Wert den Anhaltswert A_u überschreitet. Über die Betrachtung der Beurteilungsschwingstärke KB_{FTi} können die Anforderungen aus der Norm jedoch für die Messpunkt 3-6 eingehalten werden. Am Messpunkt MP 2 wird die Anforderung jedoch auch über die Beurteilungsschwingstärke KB_{FTi} nicht erfüllt; dies gilt für tags und nachts.

Hinweis: Die aus der Messung berechneten KB-Werte liegen zum Teil im Bereich $KB_{FTi} \leq 0,1$. Laut Norm werden diese zu Null gesetzt. Infolgedessen ergeben sich auch KB_{FTm} , KB_{Fmax} und KB_{FTi} -Werte mit dem Wert Null.

5.2 Auswertung nach der spektralen Prognose

Da die Ergebnisse am Messpunkt MP 2 der vereinfachten skalaren Prognose teilweise die Anhaltswerte nach DIN 4150-2 für Wohngebiete überschreiten, wurde für diesen Messpunkt zusätzlich eine spektrale Auswertung der Signale nach DB Ril 820.2050 [05] durchgeführt. Basierend auf einer Vielzahl von Untersuchungsergebnissen stellt die DB Netz in [05] Übertragungsfunktionen von Freifeldmesspunkten auf die oberste Deckenebene in Abhängigkeit von der Lage der Deckenresonanzfrequenz zur Verfügung. Dabei wird unterschieden nach Räumen mit Betondecke oder Holzbalkendecke. Da zum aktuellen Zeitpunkt die Ausführungsweise der geplanten Wohngebäude noch nicht festgelegt ist, werden beide Varianten untersucht. Mit dem spektralen Verfahren werden lediglich die Erschütterungen in der vertikalen Raumrichtung (z-Richtung) prognostiziert, da die Schwingungsamplituden in dieser Richtung in der Regel maßgebend sind. Grund hierfür sind u.a. die geringeren Massen und Steifigkeiten der Geschossdecken im Vergleich zu den steifen Horizontalverbänden in Form der Deckenscheiben der Gebäude, welche auch die gesamten Massen der jeweiligen Deckenebenen bündeln.

Das spektralen Prognoseverfahren prognostiziert lediglich Taktmaximal-Effektivwerte KB_{FTm} . Für das Beurteilungsverfahren nach DIN 4150-2 [01b] müssen daher zunächst die maximal bewerteten Schwingstärken KB_{Fmax} abgeschätzt werden. Dies kann nach [06] wie folgt vorgenommen werden:

$$KB_{Fmax} = c_m \cdot KB_{FTm} \quad (3)$$

mit $c_m \approx 1,5$ für Betondecken und $c_m \approx 1,7$ für Holzbalkendecken ohne Stoßanregung [06]

Die Ergebnisse der spektralen Prognose sind in Tabelle 5.2 und Tabelle 5.3 detailliert dargestellt. Tabelle 5.2 zeigt, dass am MP 2 in z-Richtung alle drei Zugtypen die prognostizierten KB_{Fmax} -Werte den unteren Anhaltswert $A_u = 0,1$ überschreiten. Teilweise liegen die Werte auch oberhalb des oberen Anhaltswertes $A_o = 0,6$. Dies tritt vor allem bei der Variante mit Holzbalkendecke für Regional- und Güterzüge auf. Zum Abgleich der KB_{Fmax} -Werte werden immer die A_u/A_o -Werte für die Nacht verwendet.

Tabelle 5.2: KB_{Fmax} -Werte der unterschiedlichen Zugtypen des MP 2 in z-Richtung mit Bewertung

KBFmax	MP 2 z			MP 2 z		
	Beton			Holz		
	S	RE	GZ	S	RE	GZ
8 Hz	0,120	0,227	0,402	0,191	0,412	0,739
10 Hz	0,143	0,361	0,402	0,241	0,702	0,745
12,5 Hz	0,153	0,468	0,447	0,228	0,755	0,698
16 Hz	0,176	0,405	0,538	0,240	0,555	0,703
20 Hz	0,209	0,287	0,382	0,282	0,407	0,544
25 Hz	0,242	0,274	0,409	0,317	0,377	0,580
31,5 Hz	0,225	0,251	0,519	0,292	0,342	0,677
40 Hz	0,248	0,313	0,711	0,318	0,403	0,877
50 Hz	0,202	0,288	0,444	0,274	0,380	0,623
62,5 Hz	0,165	0,247	0,321	0,234	0,334	0,486
80 Hz	0,144	0,196	0,285	0,207	0,277	0,430

KBFmax <= Au
Au < KBFmax <= Ao
KBFmax > Ao

Au	0,1
Ao	0,6

Da die prognostizierten $KB_{F_{max}}$ -Werte den Anhaltswert $A_u = 0,1$ überschreiten, folgt im nächsten Schritt die Beurteilung anhand der Beurteilungsschwingstärke KB_{FTr} . Der Berechnung der Beurteilungsschwingstärke werden, wie auch schon bei der vereinfachten Prognose erklärt, die Zugzahlen zugrunde gelegt (siehe Tabelle 3.1). Tabelle 5.3 zeigt, dass mit den Übertragungsfunktionen für Betondecken die Anhaltswerte tagsüber eingehalten werden. Für die Nacht gibt es nur im Fall einer Deckeneigenfrequenz von 40 Hz eine Überschreitung. Mit den Übertragungsfunktionen für Holzbalkendecken sind allerdings sowohl tags als auch nachts im unteren Frequenzbereich von 10 bis 16 Hz und bei 40 Hz mit Überschreitungen zu rechnen.

Tabelle 5.3: KB_{FTr} -Werte für tags und nachts des MP 2 in z-Richtung mit Bewertung

KBFTTr	MP 2 z		MP 2 z	
	Beton		Holz	
	tags	nachts	tags	nachts
8 Hz	0,036	0,030	0,055	0,048
10 Hz	0,045	0,034	0,074	0,057
12,5 Hz	0,054	0,040	0,075	0,056
16 Hz	0,055	0,044	0,065	0,051
20 Hz	0,048	0,034	0,059	0,042
25 Hz	0,052	0,037	0,062	0,045
31,5 Hz	0,052	0,041	0,060	0,047
40 Hz	0,063	0,053	0,071	0,059
50 Hz	0,049	0,037	0,058	0,045
62,5 Hz	0,039	0,028	0,049	0,036
80 Hz	0,034	0,024	0,043	0,032

KBFTTr <= Ar
KBFTTr >= Ar

	Wohngebiet
Ar tags	0,07
Ar nachts	0,05

Anmerkung:

Nach DIN 4150-2 [01b] können bei der Ermittlung der KB-bewerteten Schwingstärke auf den Gebäudedecken erfahrungsgemäß messtechnisch bedingte Unsicherheiten bis etwa 15% auftreten. Im Rahmen der Prognose sind weitere Unsicherheiten durch die Boden-Bauwerks-Wechselwirkung, die Verstärkung der Erschütterungen im Gebäude möglich.

5.3 Auswertung der Prognose des sekundären Luftschalls

Ausgangsgröße für die Prognose des sekundären Luftschalls sind die prognostizierten, energetisch gemittelten Terzschnelle-Pegel der Schwinggeschwindigkeiten auf den zu betrachtenden Geschossdecken. Aus der energetischen Addition der gemittelten Terz-Schnellepegel ergibt sich der Summenpegel, aus dem anhand einer empirischen Regressionsformel nach der Einzahlmethode [05] der sekundäre Luftschallpegel bestimmt wird. Unter Berücksichtigung der in Tabelle 3.1 genannten Zugzahlen und der mittleren Passierdauer lässt sich aus den Summenpegeln der Beurteilungspegel L_r gemäß Gleichung (4) ermitteln und mit den Immissionsrichtwerten gemäß TA-Lärm [04] vergleichen.

Korrekturen und Zuschläge nach den einschlägigen Normen sind hier nicht anzusetzen, die Passierdauer einer Zugvorbeifahrt wurde konservativ mit $T_j = 30$ s angenommen.

$$L_r = 10 * \log\left[\frac{1}{T_r} \sum_{j=1}^n T_j * 10^{0,1*(L_{Aeq,j})}\right] \quad (4)$$

Die Ergebnisse für den sekundären Luftschall, sowie deren Beurteilung nach TA Lärm, können der Tabelle 5.4 entnommen werden. Für beide Varianten der Ausführung und alle aufgeführten Deckeneigenfrequenzen werden die Immissionsrichtwerte TA-Lärm eingehalten.

Tabelle 5.4: $L_{A,m}$ – Werte des MP 2 basierend auf der Messung in z-Richtung mit Bewertung

Lam	MP 2 z		MP 2 z	
	Beton		Holz	
	tags	nachts	tags	nachts
8 Hz	16,0	11,9	15,9	11,7
	16,3	12,1	15,9	11,8
	16,6	12,5	16,4	12,3
	17,1	13,0	17,1	12,9
	17,7	13,6	17,9	13,8
	18,7	14,5	19,1	15,0
	19,5	15,4	20,1	16,0
	20,9	16,9	21,5	17,4
	21,6	17,5	22,2	18,2
	21,9	17,8	22,6	18,5
80 Hz	22,0	17,7	22,7	18,5
				Immissionsrichtwerte tags
				35
				Immissionsrichtwerte nachts
				25

6 Beurteilung, Fazit

Am 21.09.2021 wurden Erschütterungsmessungen auf den Grundstücken des Gebietes „Neugraben-Fischbek 76“ durchgeführt. Dazu wurden sechs Messaufnehmer auf dem Baugrundstück an das Erdreich angekoppelt. Anhand der registrierten Messdaten wurden die zu erwartenden Erschütterungsimmissionen infolge Schienenverkehr prognostiziert und gemäß DIN 4150, Teil 2 „Erschütterungen im Bauwesen – Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden“ beurteilt.

Gemäß Beauftragung wurde dafür zunächst ein vereinfachtes Verfahren mit skalaren Übertragungsfaktoren verwendet. Die Ergebnisse des vereinfachten Verfahrens zeigen, dass bei Verwendung der Prognose-Zugzahlen für das Jahr 2030 die Anforderungen der Norm für ein Wohngebiet an den Messpunkten MP 3 bis MP 6 eingehalten werden können. Diese Messpunkte repräsentieren dabei die geplanten Gebäude auf den Grundstücken 1 und 3.

Da am Messpunkt MP 2 die Anhaltswerte mit dem vereinfachten Prognoseverfahren überschritten werden, wurde für diesen Messpunkt zusätzlich eine spektrale Prognose zur Berücksichtigung der Deckeneigenfrequenzen angewandt. Der Messpunkt MP 2 repräsentiert das geplante Gebäude auf dem Grundstück 2. Die Ergebnisse zeigen, dass die Anhaltswerte der Norm nur unter Verwendung von Übertragungsfunktion für Betondecken und über die Beurteilungsschwingstärke eingehalten werden können. Eine Ausbildung der Decken in leichter Bauweise wirkt sich ungünstig aus, sodass in diesem Fall die Anhaltswerte für mehrere Deckeneigenfrequenzen nicht eingehalten werden können.

Mit den Ergebnissen der spektralen Prognose wurde auch eine Auswertung zum sekundären Luftschall durchgeführt: Die Anforderungen gemäß TA Lärm werden sicher eingehalten. Ebenso werden die Vorgaben der DIN 4150-3 bzgl. der Einwirkungen für die Bausubstanz sicher eingehalten.

Aufgrund der vorliegenden Untersuchung ergeben sich folgende Empfehlungen zur Bauweise auf dem Grundstück 2:

- Erstellung einer durchgehenden massiven Bodenplatte, um eine möglichst große anzuregende Masse zu erhalten.
- Ausbildung von Decken möglichst in Beton- bzw. Massivbauweise. Deckeneigenfrequenzen im Bereich von 40 Hz sollten sicherheitshalber ausgeschlossen werden.
- Anordnung von Ruhe- oder Schlafräumen im rückwärtigen Gebäudeteil (nach Süden hin).

Auch bei Einhaltung der maßgebenden Anhalts- und Richtwerte kann nicht vollkommen ausgeschlossen werden, dass Zugvorbeifahrten in dem zukünftigen Gebäude spür- oder hörbar sind; dies hängt auch von der Wahrnehmung und Empfindlichkeit der jeweils betroffenen Personen ab, dies lässt die Norm ausdrücklich zu.

Hamburg / Höchberg, Gr / Ri

Messdurchführung, Messtechnik, Messpositionen

Messzeit / Messort: 21.09.2021; 10:00 – 14:00 Uhr
Ohrnsweg / Fischbeker Heuweg, Neugraben-Fischbek, 21149 Hamburg

Anmerkungen: Freifeldmessung zur Ermittlung der Erschütterungsimmissionen infolge des Schienenverkehrs auf der Strecke Hamburg-Neugraben - Buxtehude

Messpunkte (MP):

- MP 01: ÷ auf Erdspieß; in ca. 9 m Entfernung zur Eisenbahntrasse
- MP 02: ÷ auf Erdspieß; in ca. 30 m Entfernung zur Eisenbahntrasse
- MP 03: ÷ auf Asphaltbelag; in ca. 50 m Entfernung zur Eisenbahntrasse
- MP 04: ÷ auf Asphaltbelag; in ca. 58 m Entfernung zur Eisenbahntrasse
- MP 05: ÷ auf Erdspieß; in ca. 80 m Entfernung zur Eisenbahntrasse
- MP 06: ÷ auf gepflastertem Parkplatz; in ca. 100 m Entfernung zur Eisenbahntrasse

x-Richtung: horizontal, senkrecht zur Eisenbahntrasse
y-Richtung: horizontal, parallel zur Eisenbahntrasse
z-Richtung: vertikal

An den Erschütterungsmesspunkten wurde jeweils triaxial gemessen.
Ankopplung der Erschütterungsmessgeräte gemäß DIN 45669

Messaufnehmer: MP 01 ÷ MP 06: SM-6 Geophone von Sensor Nederland, 3D mit Funkknoten Red-Sens, Hersteller Elois GmbH

MP	Seriennummer Geophon	Seriennummer Messverstärker
01	0813-161	-164
02	0813-162	-165
03	0913-163	-167
04	0913-164	-166
05	0913-165	-168
06	VS-3D.00.0002	-221

Messgröße der Erschütterungsmesspunkte (MP): Schwinggeschw.: $v = v(t)$ [mm/s]
triaxiale Geschwindigkeitssensoren gemäß DIN 45669-1

Abtastung: Obere Grenzfrequenz 400 Hz (entspricht einer Abtastrate von 0,977 ms)

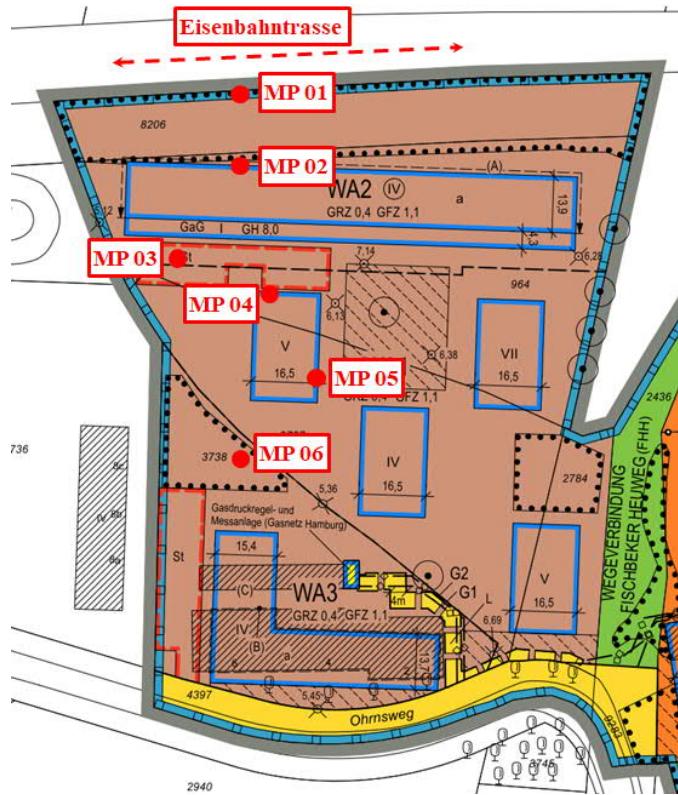
Die Messkette wurde vor und nach der Messung überprüft.

Messdatenerfassung und –verarbeitung: DELL Latitude 5580 mit Mini-Router
Mess- und Auswertungssoftware MEDA
WÖLFEL Monitoring Systems GmbH + Co. KG, Höchberg bei Würzburg

Umfeldbedingungen: Während der Messungen wurden Zugvorbeifahrten in beide Fahrtrichtungen erfasst.
Die Umweltbedingungen waren trocken und bedeckt bei ca. 16°C.

Für die Durchführung der Messung verantwortlich war Silke Grabau M.Sc.,
assistierend tätig war Matthias Knipper (beide Wölfel Engineering, Hamburg).

Übersicht der Messpunkte



Messpunkt	Entfernung vom Schienenstrang
MP 01	≈ 9 m
MP 02	≈ 30 m
MP 03	≈ 50 m
MP 04	≈ 58 m
MP 05	≈ 80 m
MP 06	≈ 100 m

Abbildung A1: Lageplan mit Messpunkten [07]

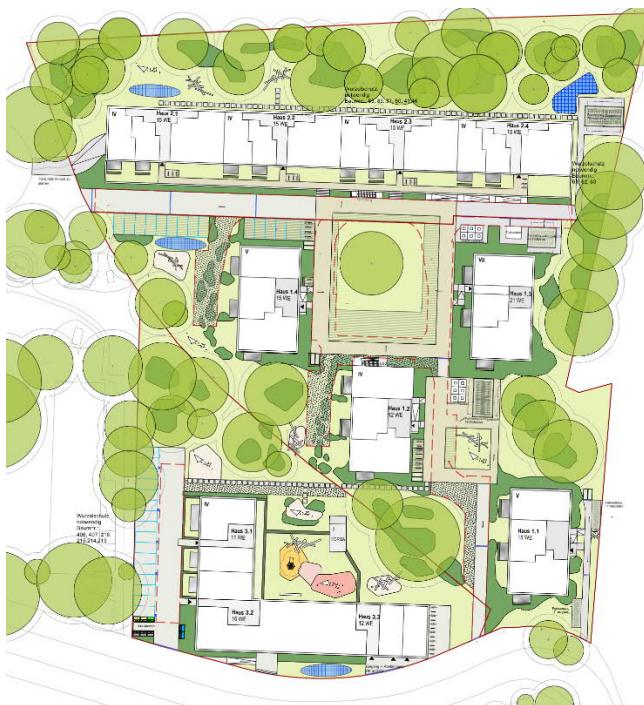


Abbildung A2: Lageplan der Grundstücke und der geplanten Wohnbebauung [07]

Fotodokumentation der Messung am 21.09.2021



Abbildung A3: Messpunkt 1 auf Erdspieß (Quelle: Wölfel Engineering GmbH + Co. KG)



Abbildung A4: Messpunkt 2 auf Erdspieß (Quelle: Wölfel Engineering GmbH + Co. KG)

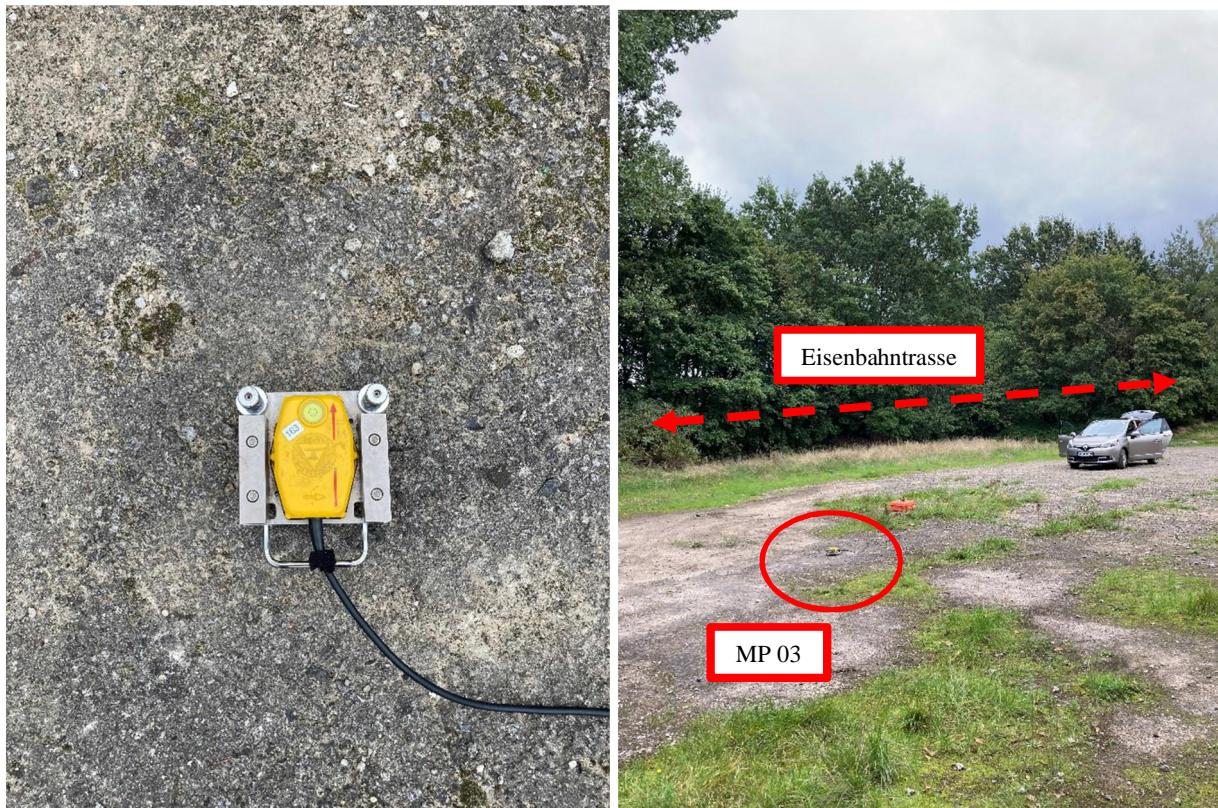


Abbildung A5: Messpunkt 3 auf Asphaltfläche (Quelle: Wölfel Engineering GmbH + Co. KG)

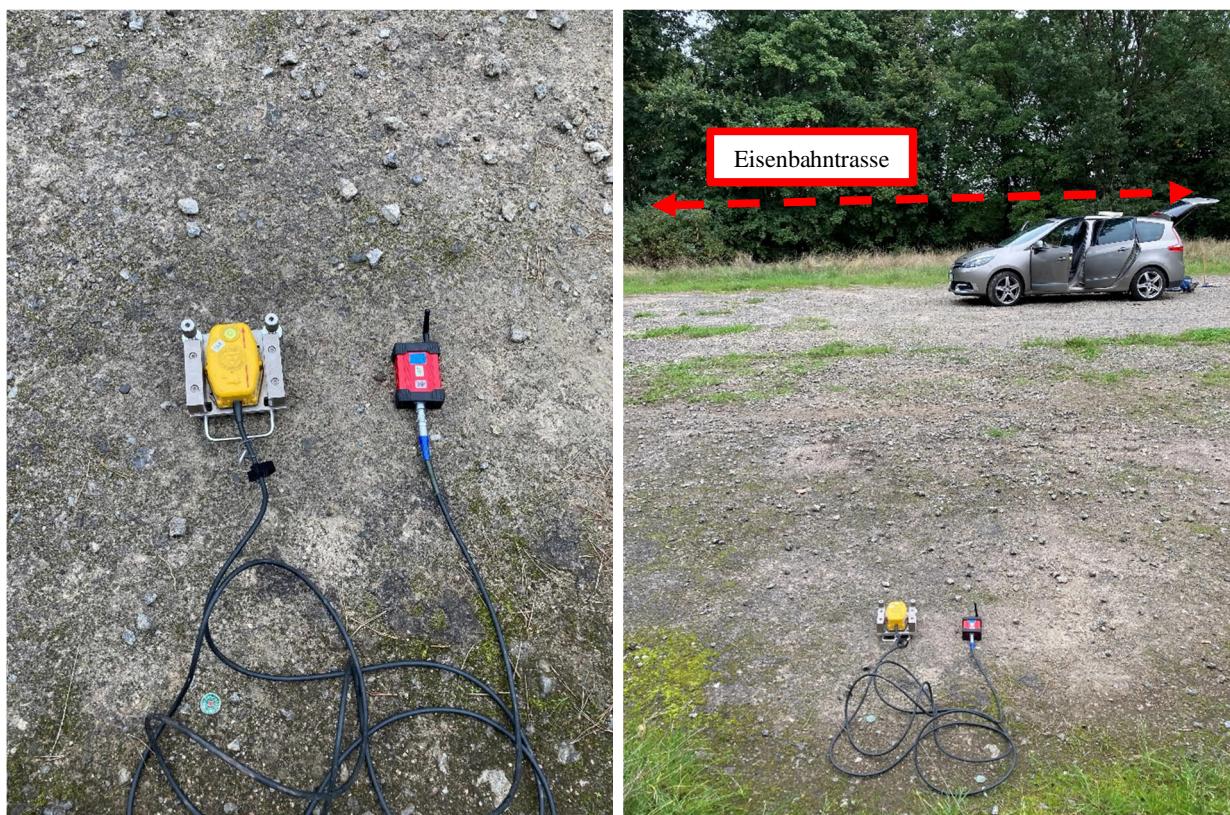


Abbildung A6: Messpunkt 4 auf Asphaltfläche (Quelle: Wölfel Engineering GmbH + Co. KG)



Abbildung A7: Messpunkt 5 auf Erdspieß (Quelle: Wölfel Engineering GmbH + Co. KG)



Abbildung A8: Messpunkt 6 auf Kantstein des Parkplatzes (Quelle: Wölfel Engineering GmbH + Co. KG)

Anhaltswerte zur Beurteilung der Erschütterungen nach DIN 4150-2

Tabelle A1: Anhaltswerte für die Beurteilung von Erschütterungsimmissionen [01b]

Zeile	Einwirkungsort	Tages-/Nachtzeit der Einwirkung		Tags		Nachts			
		Nomenklatur gemäß DIN 4150-2		A _u	A _o	A _r	A _u		
		... gemäß Erschütterungsleitlinie		IW _u	IW _o	IW _r	IW _u		
1	Einwirkungsorte, in deren Umgebung nur gewerbliche Anlagen und gegebenenfalls ausnahmsweise Wohnungen für Inhaber und Leiter der Betriebe sowie für Aufsichts- und Bereitschaftspersonen 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 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 Gebietseinteilung in der BauNVO aber auch anderen planerischen Erfordernissen Rechnungen trägt.

Die Beurteilung erfolgt nach folgendem Schema: Zunächst wird der Maximalwert KB_{Fmax} mit dem oberen Anhaltswert A_o (IW_o) sowie mit dem unteren Anhaltswert A_u (IW_u) verglichen:

- Wenn KB_{Fmax} über dem oberen Anhaltswert A_o (IW_o) liegt, ist die Anforderung der Norm nicht eingehalten, somit sind im Sinne der Norm erhebliche Belästigungen von Personen zu erwarten.
- Wenn KB_{Fmax} unter dem unteren Anhaltswert A_u (IW_u) liegt, ist die Anforderung der Norm eingehalten und damit erhebliche Belästigungen von Personen in der Regel ausgeschlossen.
- Wenn KB_{Fmax} zwischen A_u (IW_u) und A_o (IW_o) liegt, kommt eine zeitliche Bewertung zur Anwendung: In diesem Fall muss die Beurteilungsschwingstärke KB_{FTF} gebildet werden, welche die Einwirkzeiten je Tag berücksichtigt, in denen die Erschütterungen auftreten. Ist diese Beurteilungsschwingstärke KB_{FTF} kleiner als der Anhaltswert A_r (IW_r) ist die Anforderung der Norm eingehalten.

Anmerkung: Die Immissionswerte IW_o, IW_u, IW_r sind Bezeichnungen der Erschütterungsleitlinie 2018-03 der Bund-/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI). Sie decken sich mit den Anhaltswerten A_o, A_u und A_r der DIN 4150-2.

Ausgewählte Signale, Darstellung im Zeit- und Frequenzbereich

Datum: 21.09.2021
 Projekt: BV Neugraben-Fischbek 76, Erschütterungen infolge Schienenverkehr
 MP 01: ca. 9 m zur Eisenbahntrasse MP 02: ca. 30 m zur Eisenbahntrasse
 MP 03: ca. 50 m zur Eisenbahntrasse MP 04: ca. 58 m zur Eisenbahntrasse
 MP 05: ca. 80 m zur Eisenbahntrasse MP 06: ca. 100 m zur Eisenbahntrasse

Achtung: MP haben unterschiedliche y-Achsen-Skalierungen!

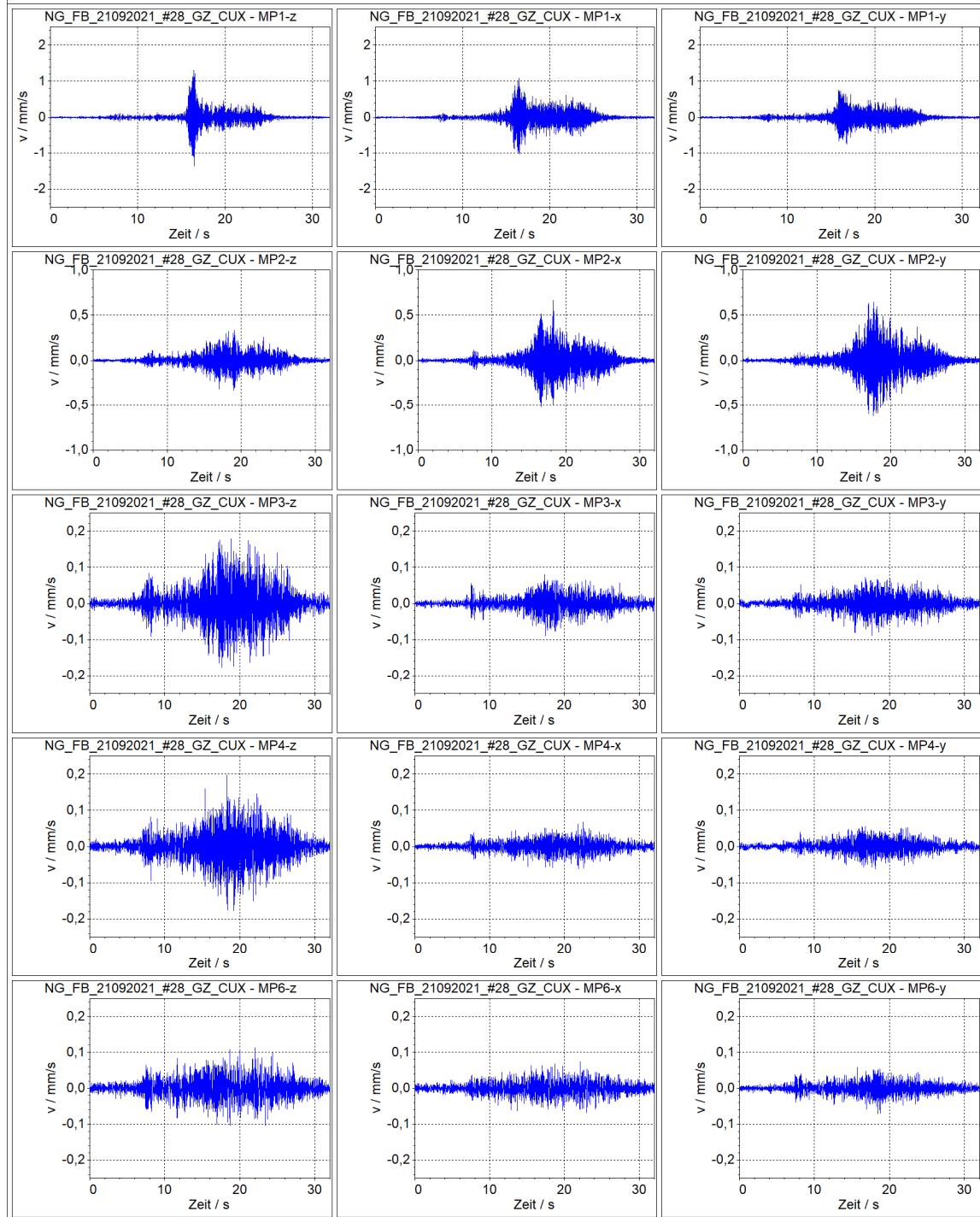


Abbildung B1: Zeitsignale der Erschütterungen infolge Vorbeifahrt GZ Richtung Buxtehude

Datum: 21.09.2021
 Projekt: BV Neugraben-Fischbek 76, Erschütterungen infolge Schienenverkehr
 MP 01: ca. 9 m zur Eisenbahntrasse MP 02: ca. 30 m zur Eisenbahntrasse
 MP 03: ca. 50 m zur Eisenbahntrasse MP 04: ca. 58 m zur Eisenbahntrasse
 MP 05: ca. 80 m zur Eisenbahntrasse MP 06: ca. 100 m zur Eisenbahntrasse



Achtung: MP haben unterschiedliche y-Achsen-Skalierungen!

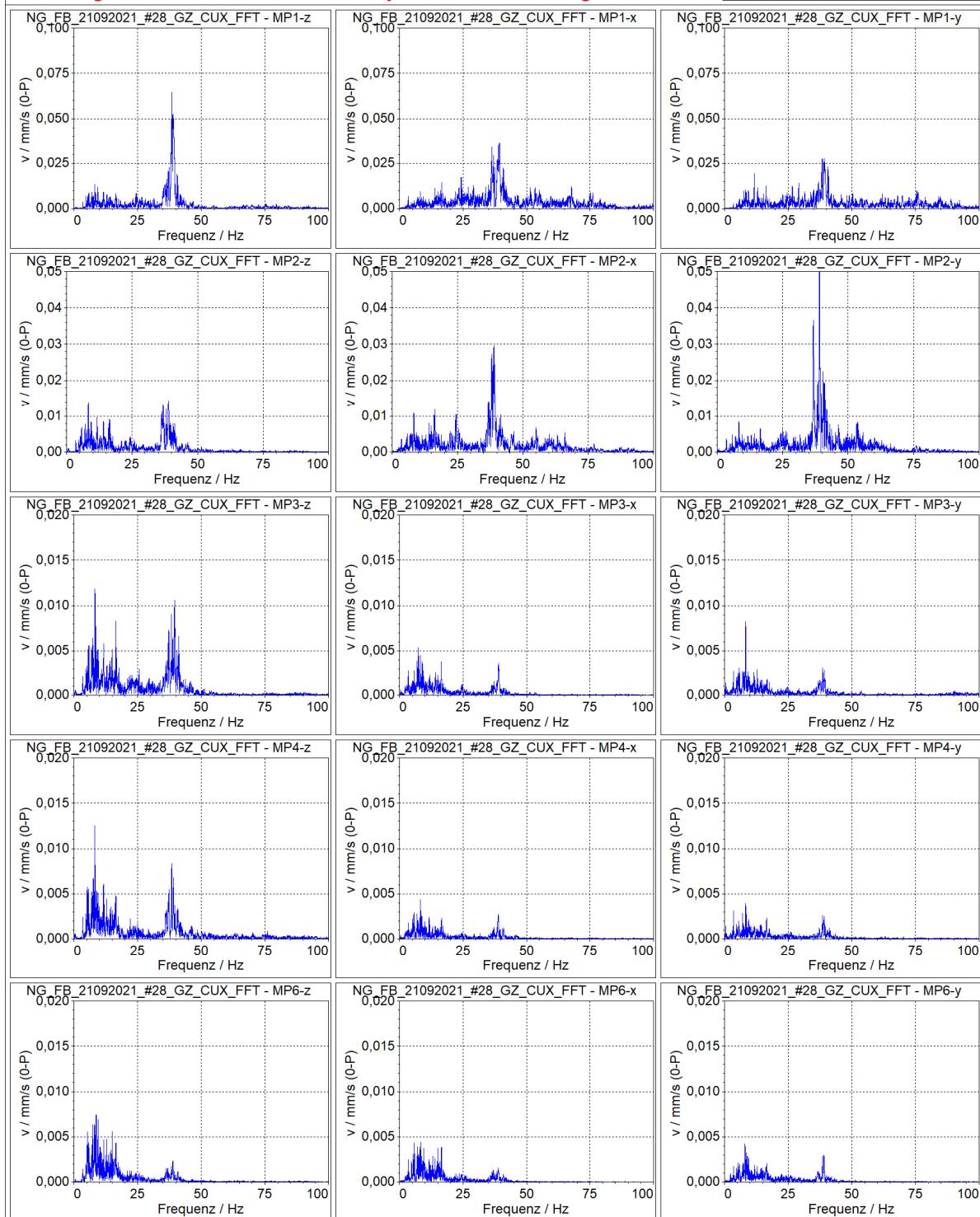


Abbildung B2: Spektrum der Erschütterungen infolge Vorbeifahrt GZ Richtung Buxtehude

Datum: 21.09.2021
 Projekt: BV Neugraben-Fischbek 76, Erschütterungen infolge Schienenverkehr
 MP 01: ca. 9 m zur Eisenbahntrasse MP 02: ca. 30 m zur Eisenbahntrasse
 MP 03: ca. 50 m zur Eisenbahntrasse MP 04: ca. 58 m zur Eisenbahntrasse
 MP 05: ca. 80 m zur Eisenbahntrasse MP 06: ca. 100 m zur Eisenbahntrasse



Achtung: MP haben unterschiedliche y-Achsen-Skalierungen!

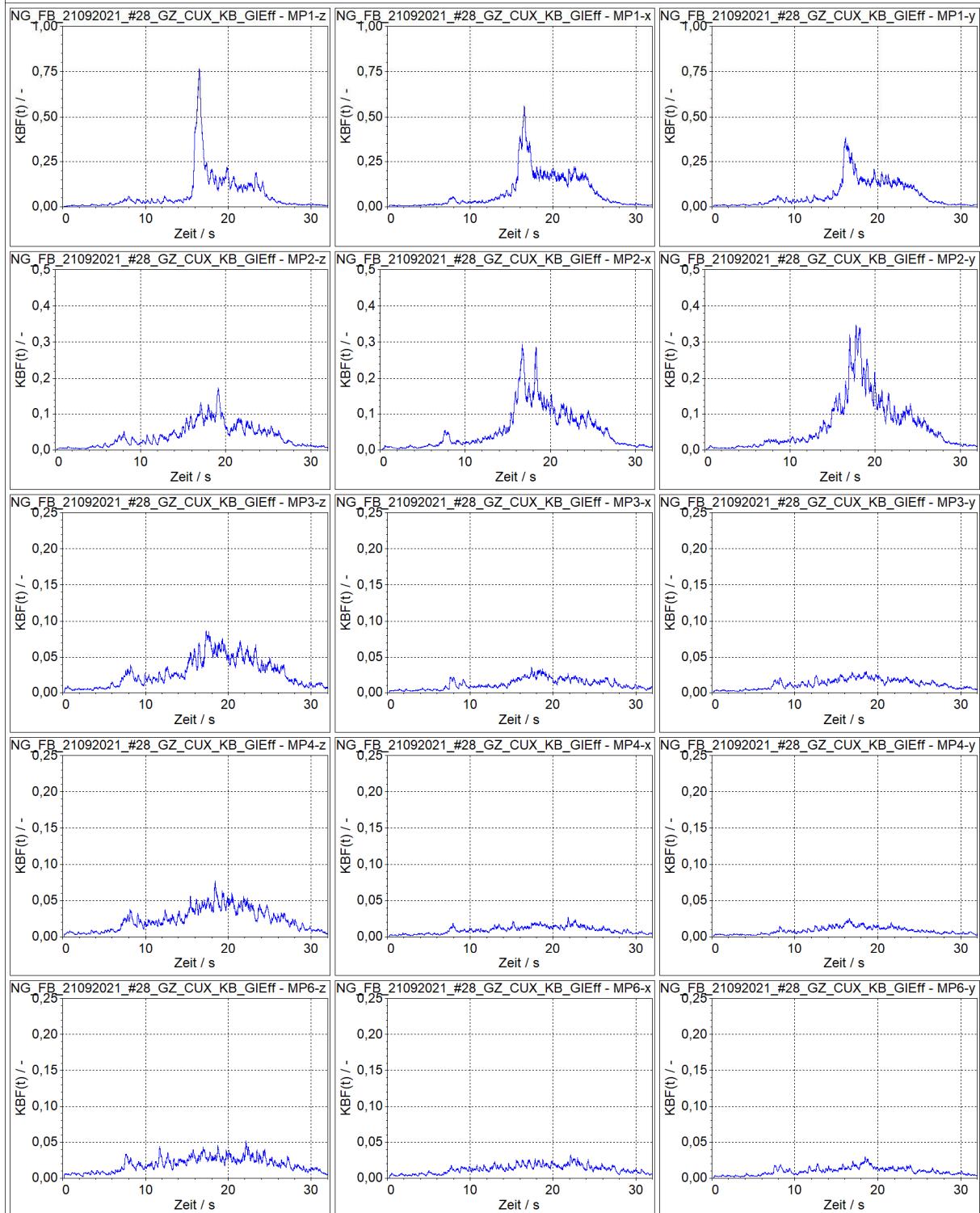


Abbildung B3: Gleitender Effektivwert (KB-Wert) infolge Vorbeifahrt GZ Richtung Buxtehude

Datum: 21.09.2021
 Projekt: BV Neugraben-Fischbek 76, Erschütterungen infolge Schienenverkehr
 MP 01: ca. 9 m zur Eisenbahntrasse MP 02: ca. 30 m zur Eisenbahntrasse
 MP 03: ca. 50 m zur Eisenbahntrasse MP 04: ca. 58 m zur Eisenbahntrasse
 MP 05: ca. 80 m zur Eisenbahntrasse MP 06: ca. 100 m zur Eisenbahntrasse



Achtung: MP haben unterschiedliche y-Achsen-Skalierungen!

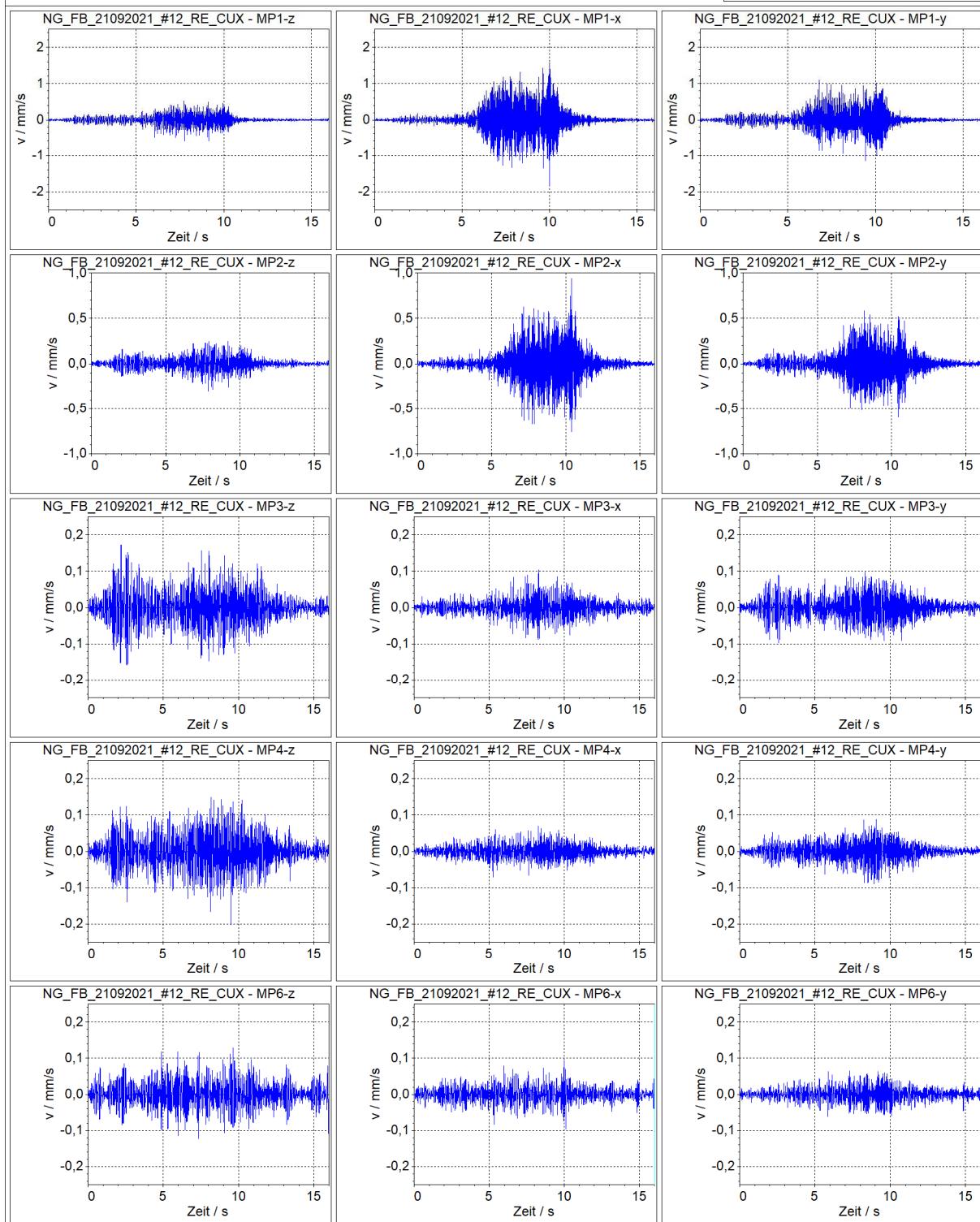


Abbildung B4: Zeitsignale der Erschütterungen infolge Vorbeifahrt RE Richtung Buxtehude

Datum: 21.09.2021
 Projekt: BV Neugraben-Fischbek 76, Erschütterungen infolge Schienenverkehr
 MP 01: ca. 9 m zur Eisenbahntrasse MP 02: ca. 30 m zur Eisenbahntrasse
 MP 03: ca. 50 m zur Eisenbahntrasse MP 04: ca. 58 m zur Eisenbahntrasse
 MP 05: ca. 80 m zur Eisenbahntrasse MP 06: ca. 100 m zur Eisenbahntrasse



Achtung: MP haben unterschiedliche y-Achsen-Skalierungen!

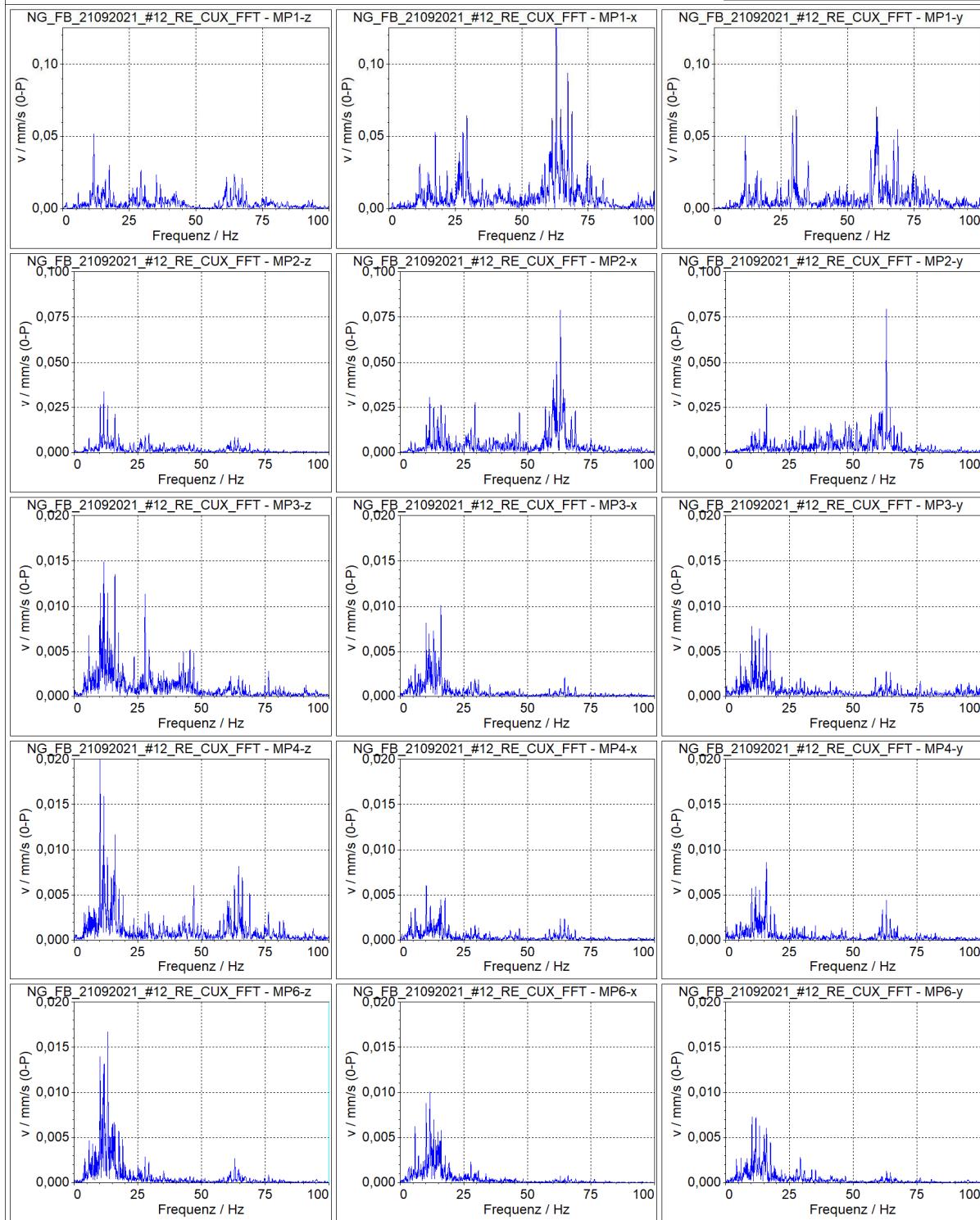


Abbildung B5: Spektrum der Erschütterungen infolge Vorbeifahrt RE Richtung Buxtehude

Datum: 21.09.2021
 Projekt: BV Neugraben-Fischbek 76, Erschütterungen infolge Schienenverkehr
 MP 01: ca. 9 m zur Eisenbahntrasse MP 02: ca. 30 m zur Eisenbahntrasse
 MP 03: ca. 50 m zur Eisenbahntrasse MP 04: ca. 58 m zur Eisenbahntrasse
 MP 05: ca. 80 m zur Eisenbahntrasse MP 06: ca. 100 m zur Eisenbahntrasse

Achtung: MP haben unterschiedliche y-Achsen-Skalierungen!

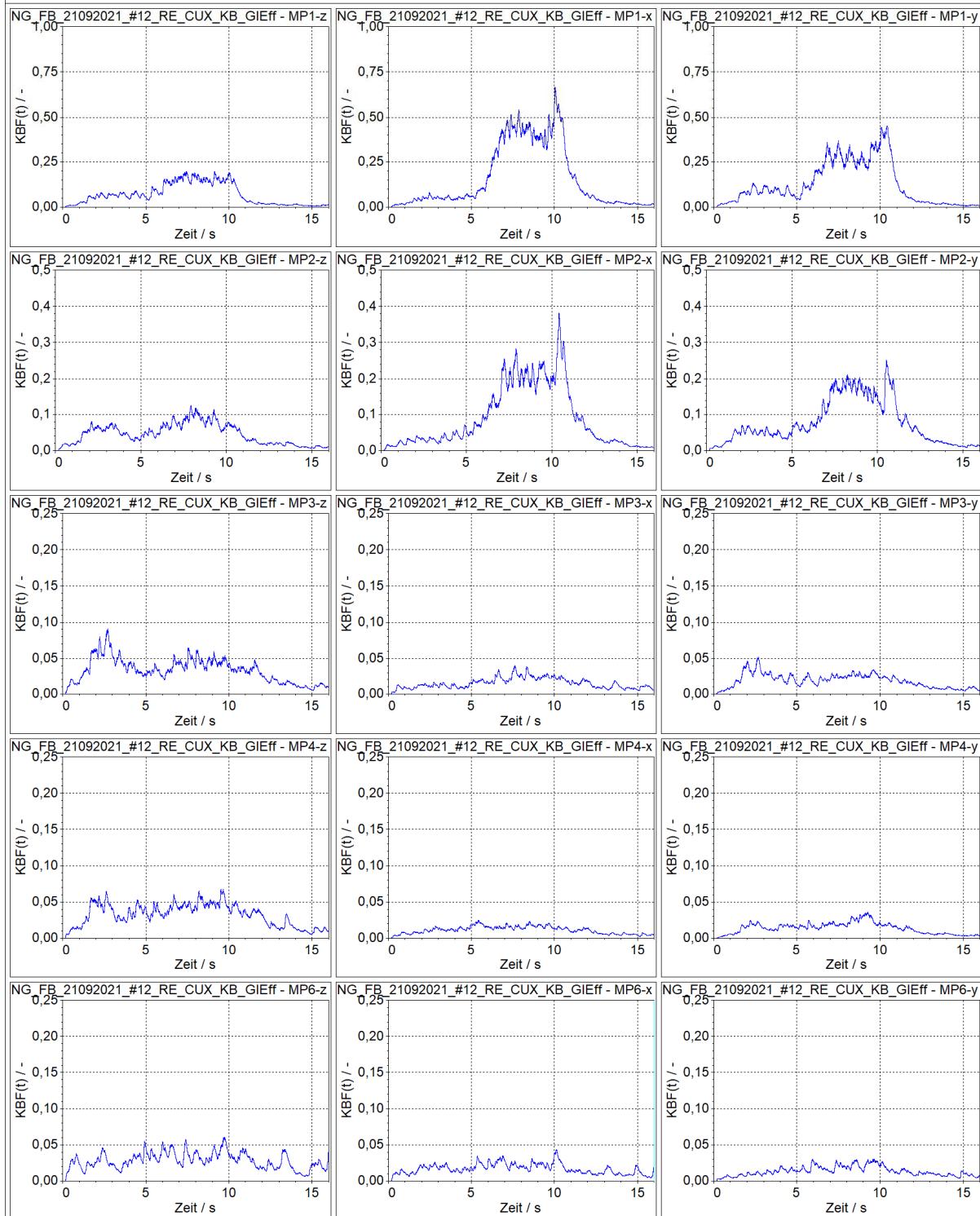


Abbildung B6: Gleitender Effektivwert (KB-Wert) infolge Vorbeifahrt RE Richtung Buxtehude

Datum: 21.09.2021
 Projekt: BV Neugraben-Fischbek 76, Erschütterungen infolge Schienenverkehr
 MP 01: ca. 9 m zur Eisenbahntrasse MP 02: ca. 30 m zur Eisenbahntrasse
 MP 03: ca. 50 m zur Eisenbahntrasse MP 04: ca. 58 m zur Eisenbahntrasse
 MP 05: ca. 80 m zur Eisenbahntrasse MP 06: ca. 100 m zur Eisenbahntrasse



Achtung: MP haben unterschiedliche y-Achsen-Skalierungen!

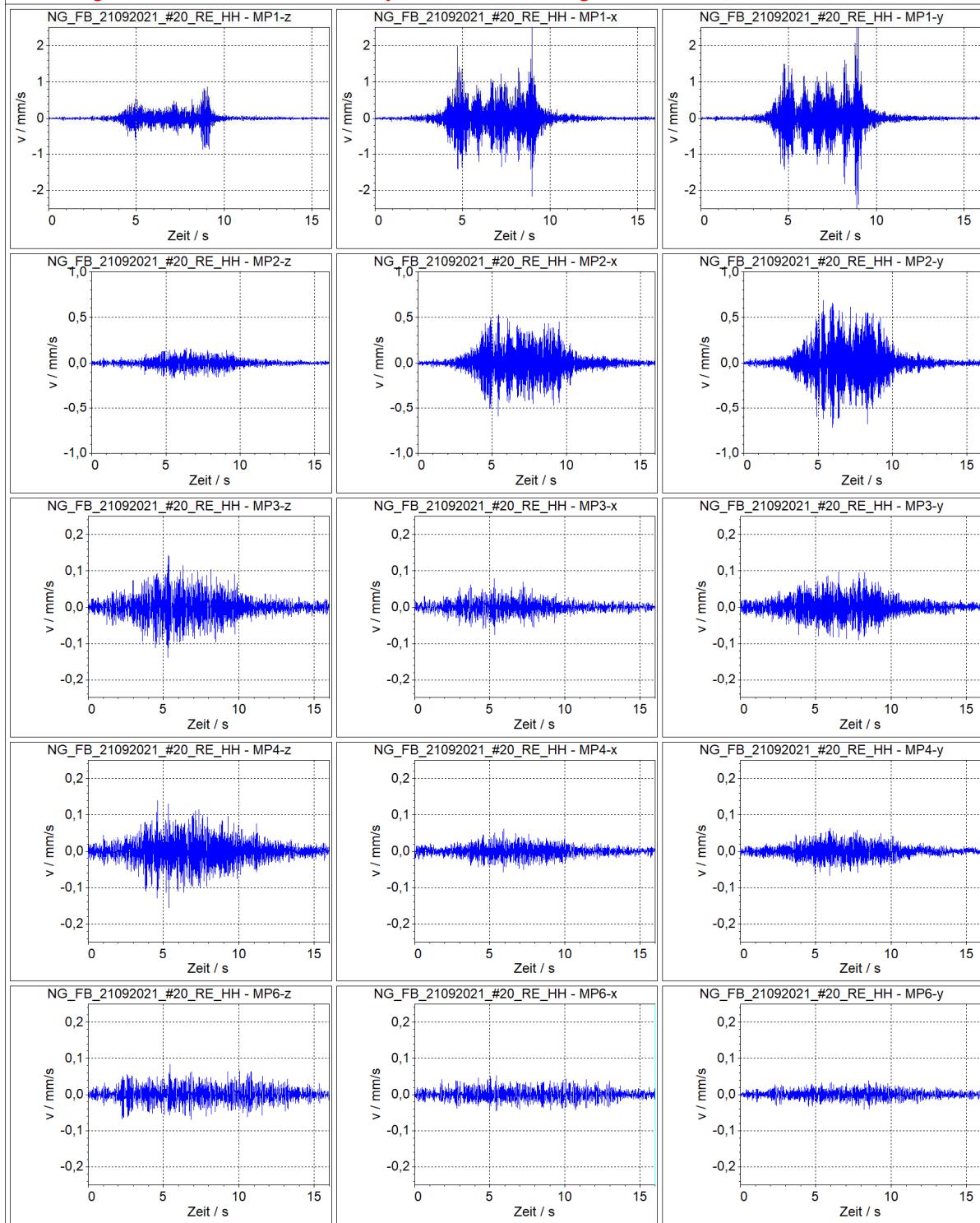


Abbildung B7: Zeitsignale der Erschütterungen infolge Vorbeifahrt RE Richtung Hamburg

Datum: 21.09.2021
 Projekt: BV Neugraben-Fischbek 76, Erschütterungen infolge Schienenverkehr
 MP 01: ca. 9 m zur Eisenbahntrasse MP 02: ca. 30 m zur Eisenbahntrasse
 MP 03: ca. 50 m zur Eisenbahntrasse MP 04: ca. 58 m zur Eisenbahntrasse
 MP 05: ca. 80 m zur Eisenbahntrasse MP 06: ca. 100 m zur Eisenbahntrasse



Achtung: MP haben unterschiedliche y-Achsen-Skalierungen!

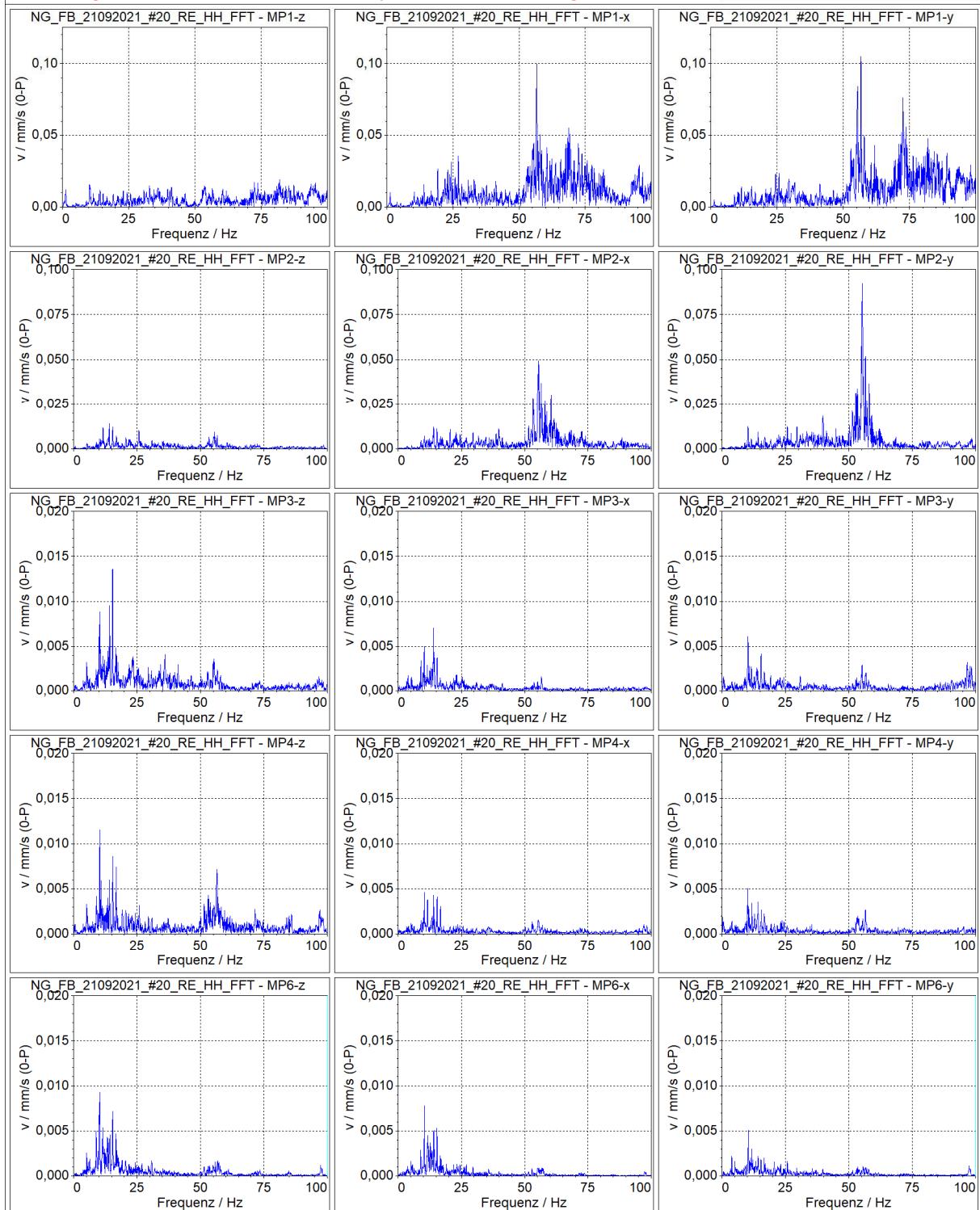


Abbildung B8: Spektrum der Erschütterungen infolge Vorbeifahrt RE Richtung Hamburg

Datum: 21.09.2021
 Projekt: BV Neugraben-Fischbek 76, Erschütterungen infolge Schienenverkehr
 MP 01: ca. 9 m zur Eisenbahntrasse MP 02: ca. 30 m zur Eisenbahntrasse
 MP 03: ca. 50 m zur Eisenbahntrasse MP 04: ca. 58 m zur Eisenbahntrasse
 MP 05: ca. 80 m zur Eisenbahntrasse MP 06: ca. 100 m zur Eisenbahntrasse



Achtung: MP haben unterschiedliche y-Achsen-Skalierungen!

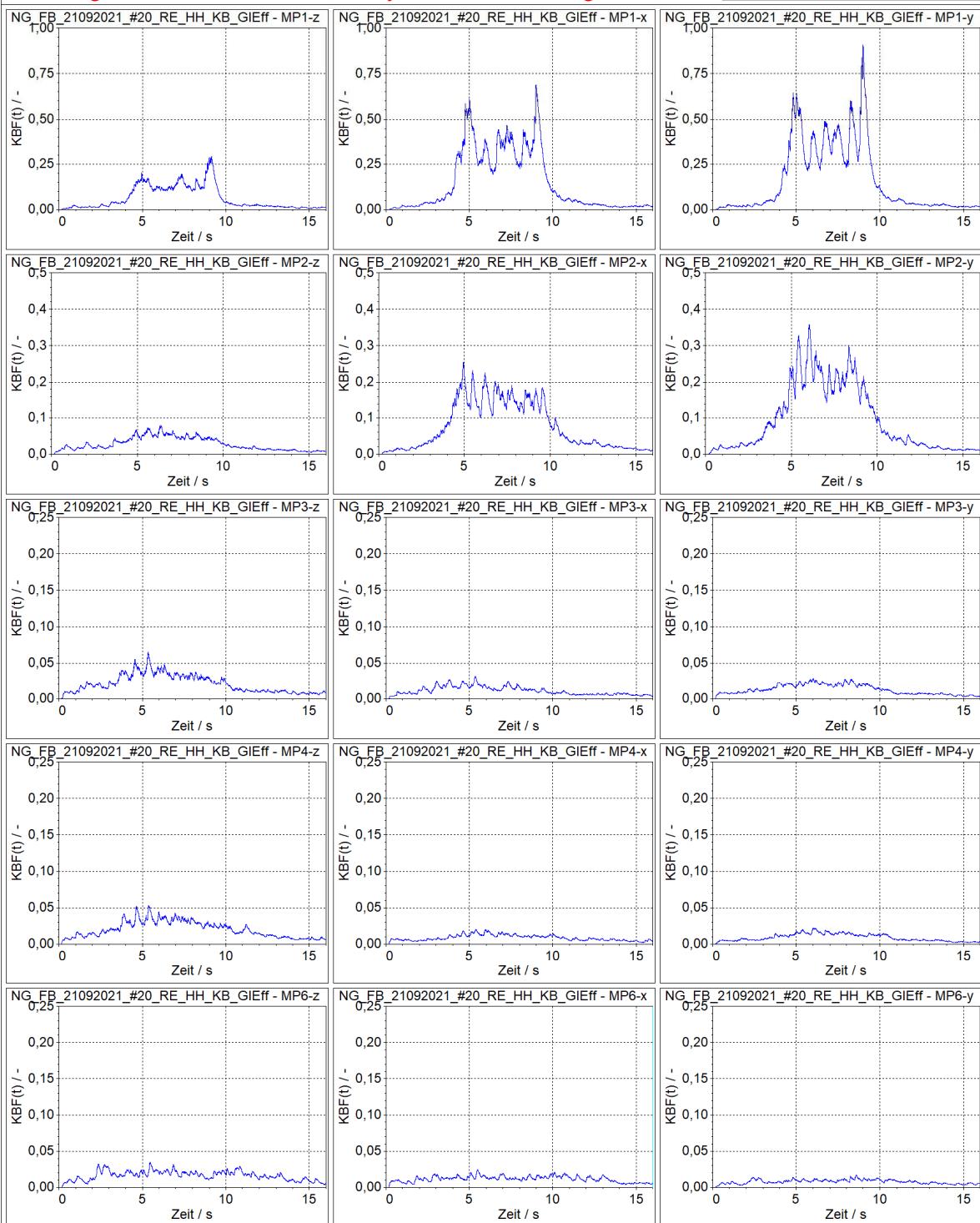


Abbildung B9: Gleitender Effektivwert (KB-Wert) infolge Vorbeifahrt RE Richtung Hamburg

Datum: 21.09.2021
 Projekt: BV Neugraben-Fischbek 76, Erschütterungen infolge Schienenverkehr
 MP 01: ca. 9 m zur Eisenbahntrasse MP 02: ca. 30 m zur Eisenbahntrasse
 MP 03: ca. 50 m zur Eisenbahntrasse MP 04: ca. 58 m zur Eisenbahntrasse
 MP 05: ca. 80 m zur Eisenbahntrasse MP 06: ca. 100 m zur Eisenbahntrasse



Achtung: MP haben unterschiedliche y-Achsen-Skalierungen!

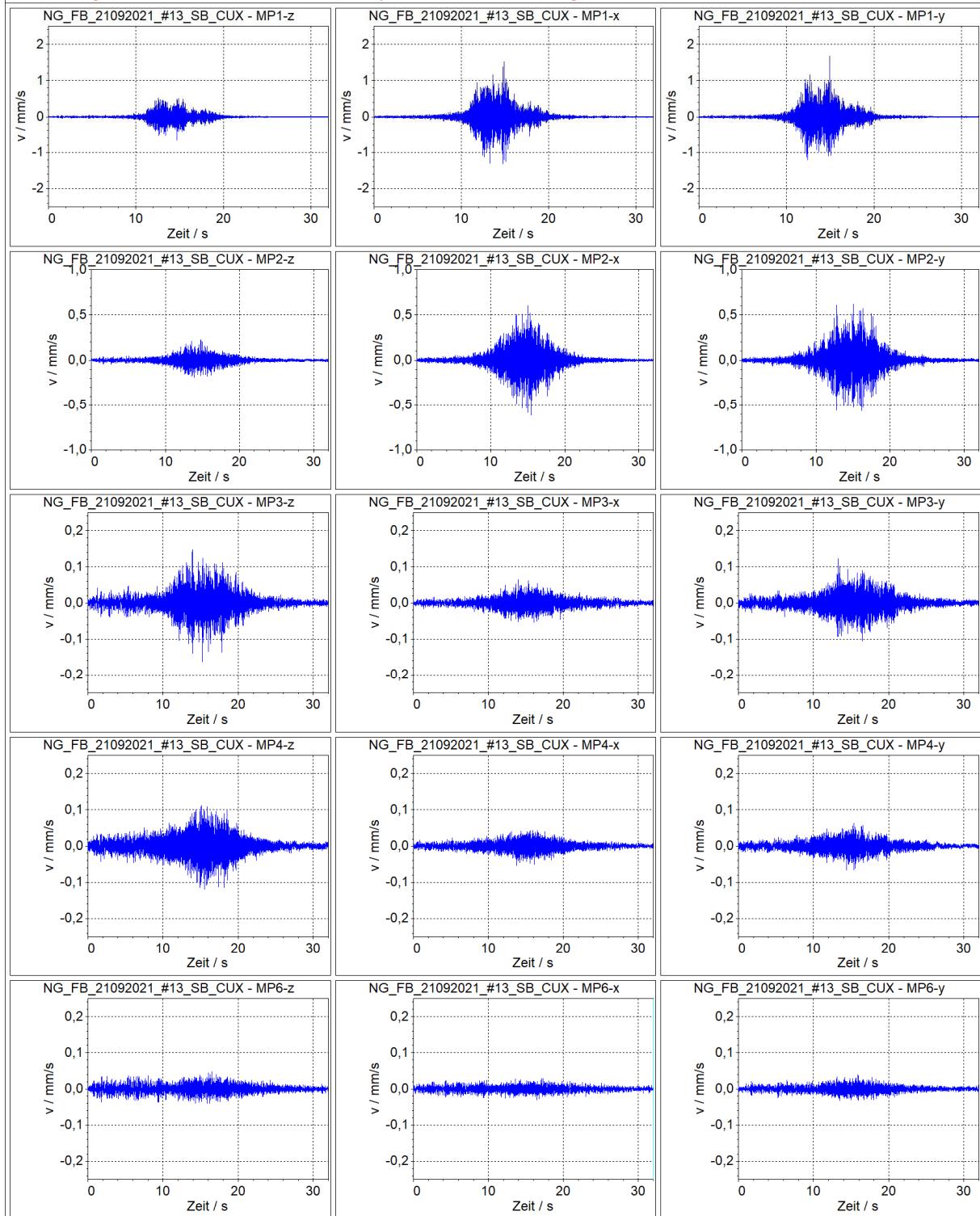


Abbildung B10: Zeitsignale der Erschütterungen infolge Vorbeifahrt S-Bahn Richtung Buxtehude

Datum: 21.09.2021
 Projekt: BV Neugraben-Fischbek 76, Erschütterungen infolge Schienenverkehr
 MP 01: ca. 9 m zur Eisenbahntrasse MP 02: ca. 30 m zur Eisenbahntrasse
 MP 03: ca. 50 m zur Eisenbahntrasse MP 04: ca. 58 m zur Eisenbahntrasse
 MP 05: ca. 80 m zur Eisenbahntrasse MP 06: ca. 100 m zur Eisenbahntrasse



Achtung: MP haben unterschiedliche y-Achsen-Skalierungen!

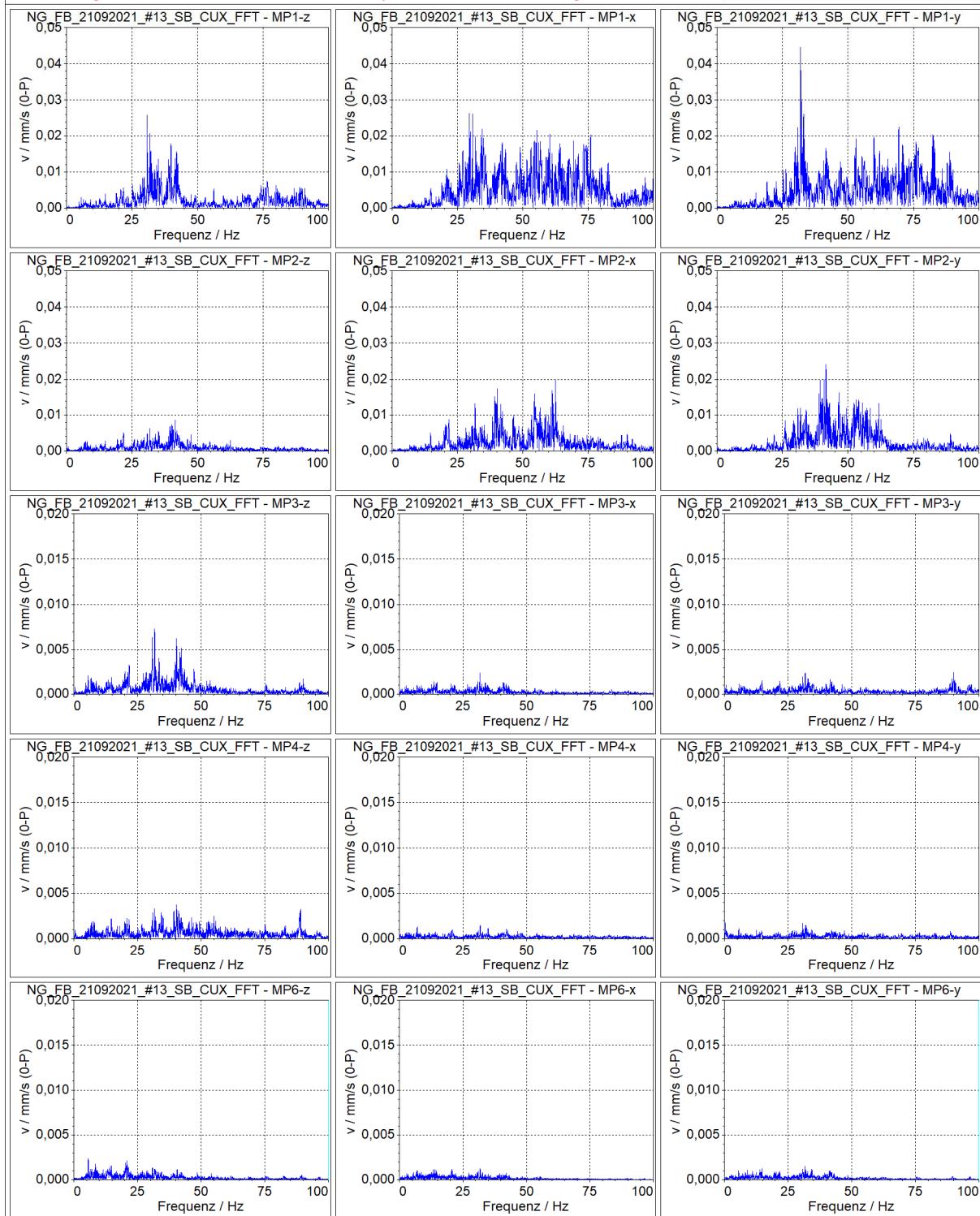


Abbildung B11: Spektrum der Erschütterungen infolge Vorbeifahrt S-Bahn Richtung Buxtehude

Datum: 21.09.2021
 Projekt: BV Neugraben-Fischbek 76, Erschütterungen infolge Schienenverkehr
 MP 01: ca. 9 m zur Eisenbahntrasse MP 02: ca. 30 m zur Eisenbahntrasse
 MP 03: ca. 50 m zur Eisenbahntrasse MP 04: ca. 58 m zur Eisenbahntrasse
 MP 05: ca. 80 m zur Eisenbahntrasse MP 06: ca. 100 m zur Eisenbahntrasse



Achtung: MP haben unterschiedliche y-Achsen-Skalierungen!

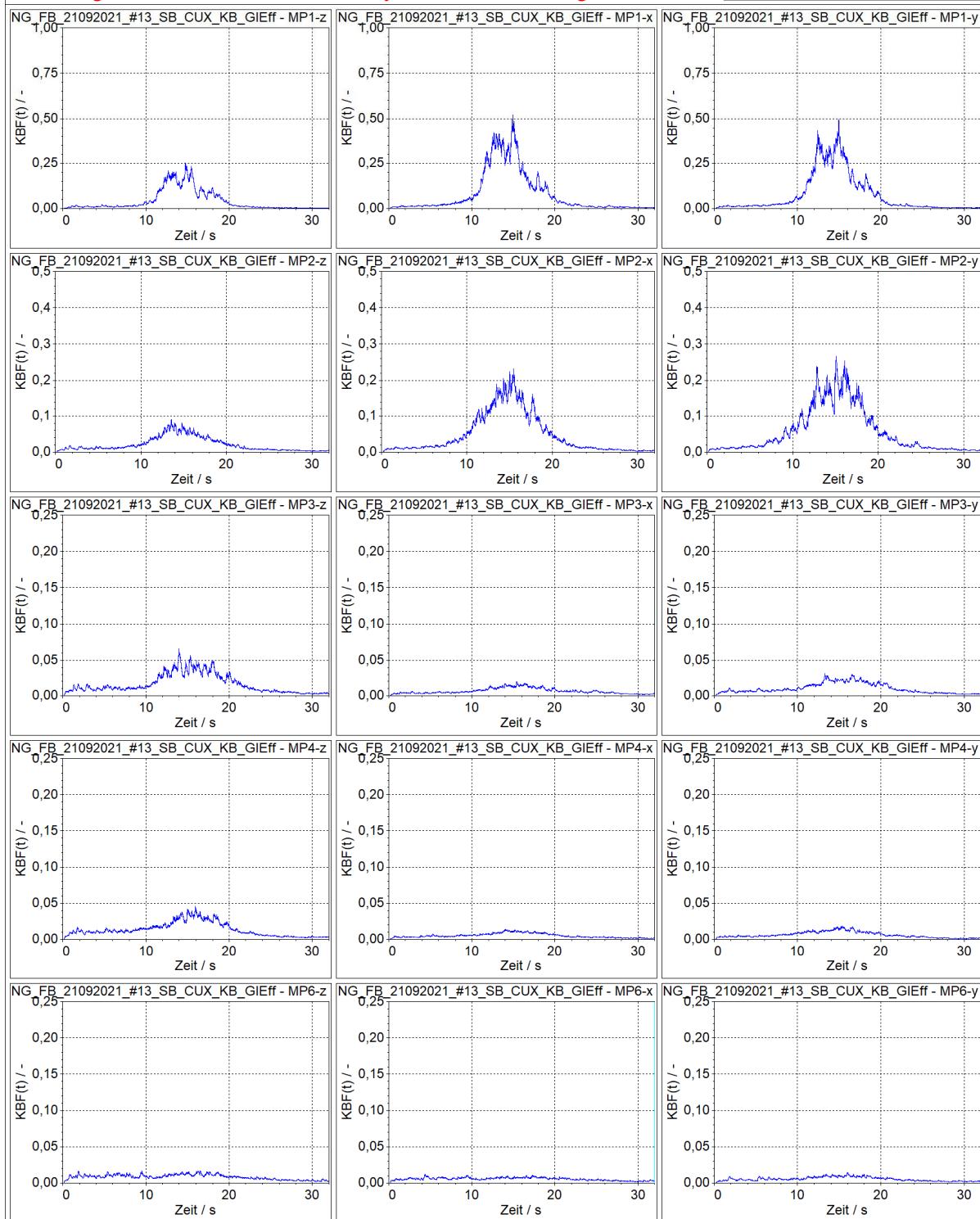


Abbildung B12: Gleitender Effektivwert (KB-Wert) infolge Vorbeifahrt S-Bahn Richtung Buxtehude

Datum: 21.09.2021
Projekt: BV Neugraben-Fischbek 76, Erschütterungen infolge Schienenverkehr
MP 01: ca. 9 m zur Eisenbahntrasse MP 02: ca. 30 m zur Eisenbahntrasse
MP 03: ca. 50 m zur Eisenbahntrasse MP 04: ca. 58 m zur Eisenbahntrasse
MP 05: ca. 80 m zur Eisenbahntrasse MP 06: ca. 100 m zur Eisenbahntrasse



Achtung: MP haben unterschiedliche y-Achsen-Skalierungen!

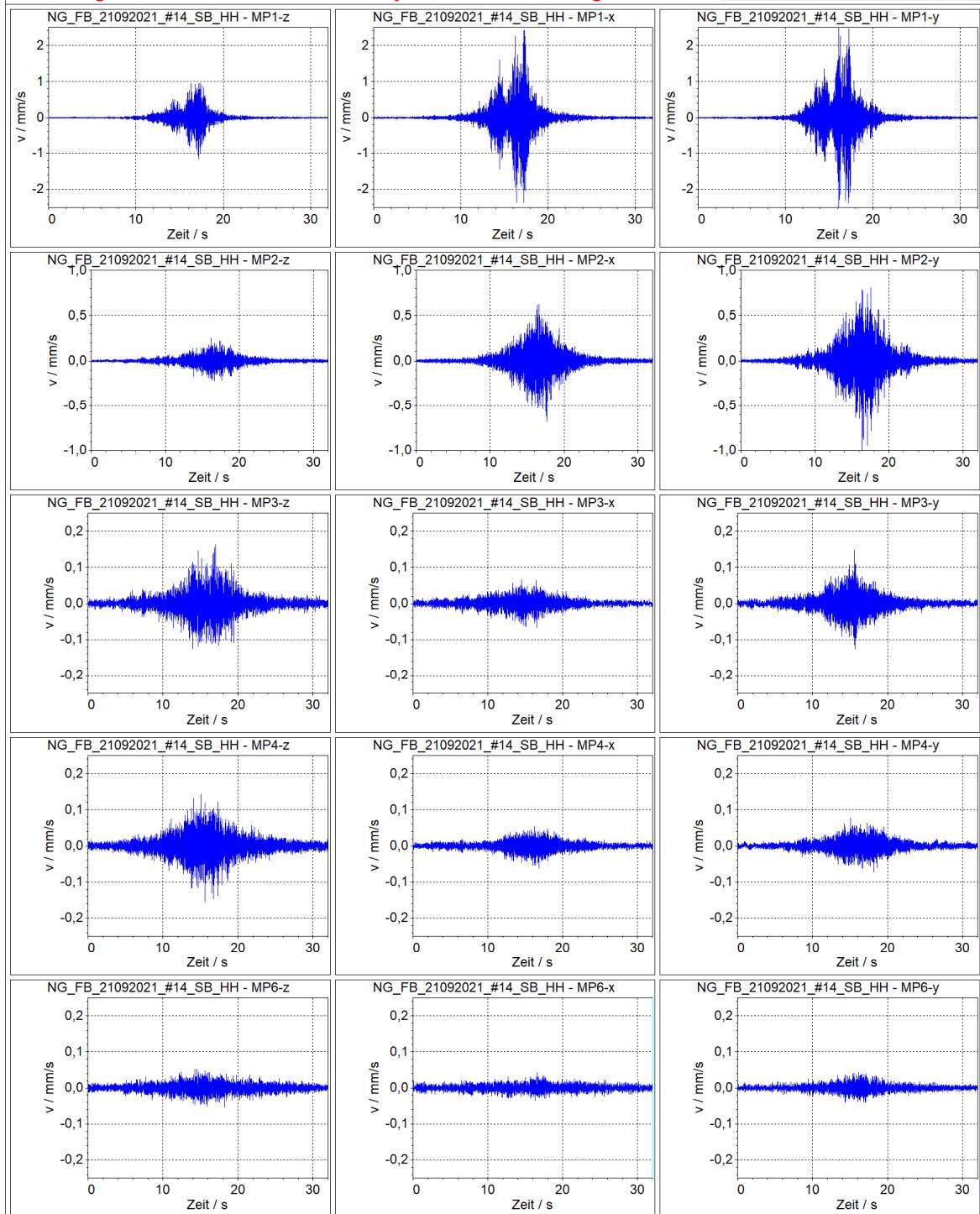


Abbildung B13: Zeitsignale der Erschütterungen infolge Vorbeifahrt S-Bahn Richtung Hamburg

Datum: 21.09.2021
 Projekt: BV Neugraben-Fischbek 76, Erschütterungen infolge Schienenverkehr
 MP 01: ca. 9 m zur Eisenbahntrasse MP 02: ca. 30 m zur Eisenbahntrasse
 MP 03: ca. 50 m zur Eisenbahntrasse MP 04: ca. 58 m zur Eisenbahntrasse
 MP 05: ca. 80 m zur Eisenbahntrasse MP 06: ca. 100 m zur Eisenbahntrasse



Achtung: MP haben unterschiedliche y-Achsen-Skalierungen!

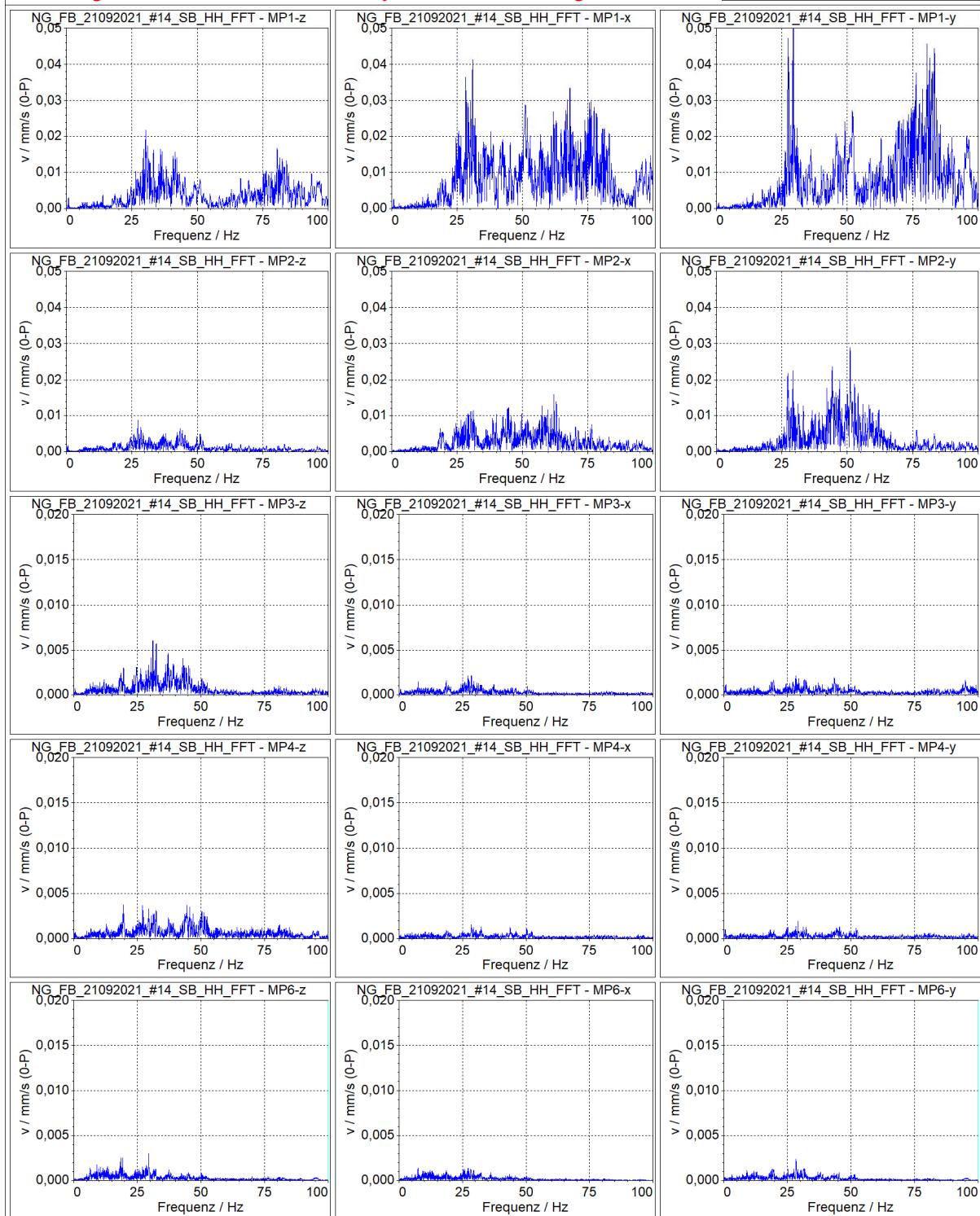


Abbildung B14: Spektrum der Erschütterungen infolge Vorbeifahrt S-Bahn Richtung Hamburg

Datum: 21.09.2021
 Projekt: BV Neugraben-Fischbek 76, Erschütterungen infolge Schienenverkehr
 MP 01: ca. 9 m zur Eisenbahntrasse MP 02: ca. 30 m zur Eisenbahntrasse
 MP 03: ca. 50 m zur Eisenbahntrasse MP 04: ca. 58 m zur Eisenbahntrasse
 MP 05: ca. 80 m zur Eisenbahntrasse MP 06: ca. 100 m zur Eisenbahntrasse



Achtung: MP haben unterschiedliche y-Achsen-Skalierungen!

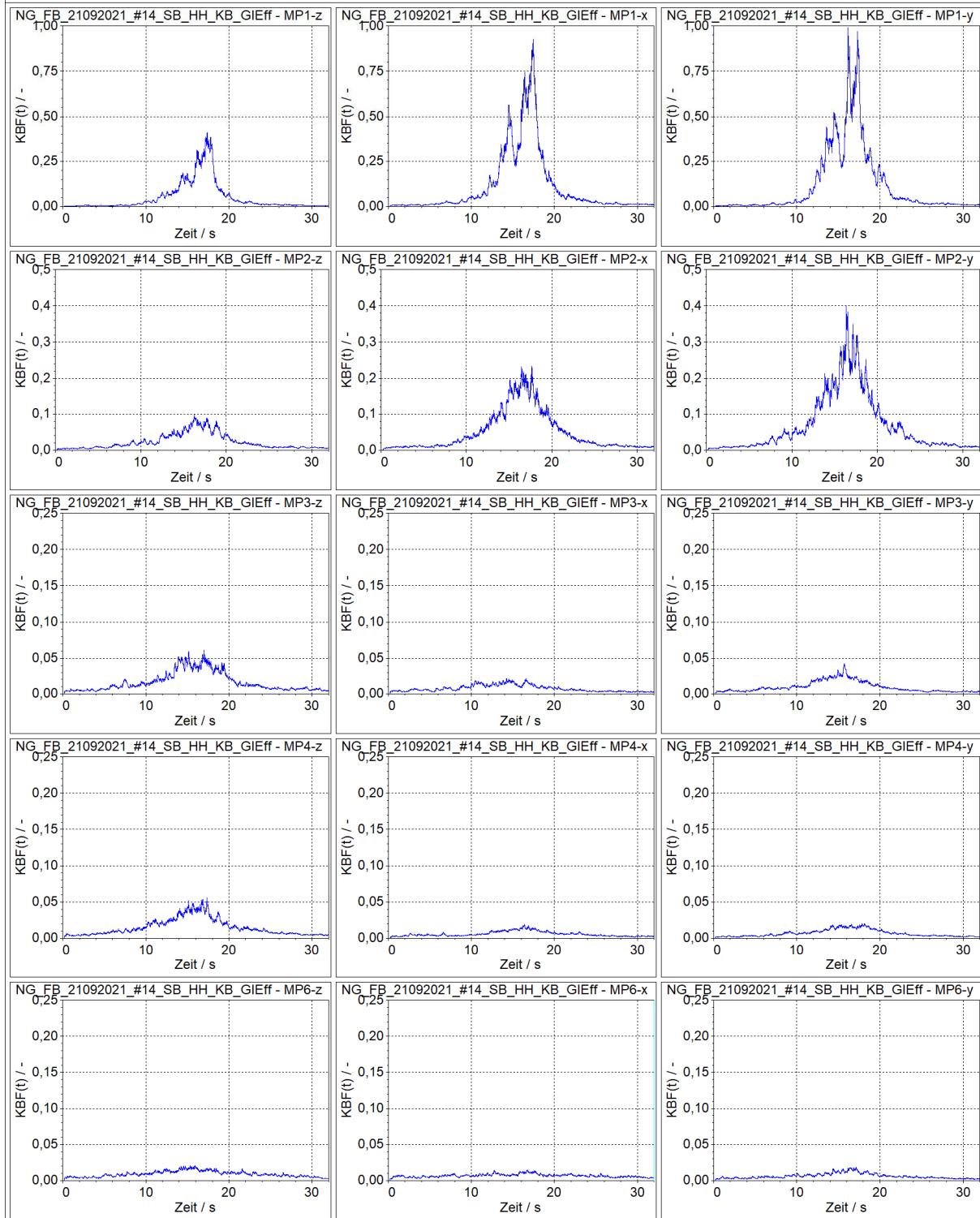


Abbildung B15: Gleitender Effektivwert (KB-Wert) infolge Vorbeifahrt S-Bahn Richtung Hamburg