

Bebauungsplanverfahren „Kapelle II“ in Hochhausen (Tauberbischofsheim)

Erschütterungsprognose infolge Schienenverkehr Auswertung der Messung vom 11.10.2024

Auftraggeber: Stadt Tauberbischofsheim
Marktplatz 8
97941 Tauberbischofsheim

Berichtsnummer: Y0342.023.01.001

Dieser Bericht umfasst 8 Seiten Text und 20 Seiten Anhang.

Höchberg, 22.10.2024


Marie-Louis Weiß M. Sc.
Bearbeitung


Dr.-Ing. Arthur Feldbusch
Prüfung und Freigabe
fachliche Verantwortung



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

Bekanntgegebene
Messstelle nach
§ 29b BImSchG
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	22.10.2024	-	-	Erstellung

Inhaltsverzeichnis

1	Aufgabenstellung	3
2	Unterlagen, Abkürzungen	3
2.1	Unterlagenverzeichnis	3
2.2	Abkürzungsverzeichnis	3
3	Situation vor Ort	4
4	Anforderungen zum Erschütterungsschutz.....	4
5	Angaben zur Messung.....	5
6	Auswertung	7
7	Fazit, Empfehlungen	8
Anhang A	Allgemeines	A-1
	Messdurchführung, Messtechnik, Messpositionen	A-1
	Lageplan.....	A-3
	Fotodokumentation	A-5
	Anhaltswerte zur Beurteilung der Erschütterungen	A-8
Anhang B	Ausgewählte Signale, Darstellung im Zeit- und Frequenzbereich	B-1

Anhänge

Anhang	Inhalt	Seite
A	Allgemeines, Grundlagen	A1 – A8
B	Messergebnisse, Darstellung im Zeit- und Frequenzbereich	B1 - B12

1 Aufgabenstellung

Die Stadt Tauberbischofsheim plant in Hochhausen ein neues Baugebiet „Kapelle II“. Östlich des Plangebiets verläuft die Bahnstrecke 4920 von Lauda nach Wertheim.

Aufgrund der Nähe des Standortes zum Schienenverkehr sind Erschütterungsimmissionen zu erwarten. Daher wurde Wölfel Engineering GmbH + Co. KG mit der Erstellung eines Erschütterungsgutachtens beauftragt. Dies umfasst die Messung der Erschütterungen vor Ort im Freifeld sowie die Prognose und Bewertung der auftretenden Erschütterungen auf die zukünftige Bebauung.

Im vorliegenden Bericht sind die Durchführung und die wesentlichen Ergebnisse der Messungen vom 11.10.2024 sowie deren Beurteilung gemäß DIN 4150-2 beschrieben.

2 Unterlagen, Abkürzungen

2.1 Unterlagenverzeichnis

Nr.	Dokument	Bezeichnung / Beschreibung	
[01]	DIN 4150	Erschütterungen im Bauwesen	
	[01a]	Teil 1: Vorermittlung von Schwingungsgrößen	2022-12
	[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	2020-11
	[03c]	Teil 3: Prognoseverfahren auf Basis von Terzspektren	2023-02
[04]	Wölfel Engineering GmbH + Co. KG	Wölfel-Bericht Y0342.019.01.001, Stadt Tauberbischofsheim, Stadtteil Hochhausen Baugebiet „Kapelle II“, Schallimmissionsprognose Verkehr	2024-02
[05]	Stadt Tauberbischofsheim	Bebauungsplan „Kapelle II“ (WA) in Hochhausen	2024-06
[06]	Walter Ingenieure	Neubau Kindergarten Hochhausen Stadt Tauberbischofsheim, Baugrundgutachten	2023-02
[07]	DB Netze	Richtlinie 820 „Grundlagen des Oberbaus“; Ril 820.2050 Erschütterungen und sekundärer Luftschall; Version 2017-09-06	

2.2 Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Bedeutung
BV	Bauvorhaben
GOK	Geländeoberkante
$KB_F(t)$ [-]	Bewertete Schwinggeschwindigkeit / Amplitude der Schwinggeschwindigkeit
KB_{Fmax} [-]	Maximale bewertete Schwingstärke nach [01b]
KB_{FTi} [-]	Taktmaximalwert der bewerteten Schwingstärke nach [01b]
KB_{FTm} [-]	Taktmaximal-Effektivwert nach [01b]
KB_{FTr} [-]	Beurteilungsschwingstärke nach [01b] unter Berücksichtigung d. Einwirkungsdauer
MP	Messposition bzw. Messpunkt

MQ	Messquerschnitt
T_e [h]	Einwirkungszeit
T_r [h]	Beurteilungszeit
UG, EG, OG	Untergeschoss, Erdgeschoss, Obergeschoss
v / v_{0-P} [mm/s]	Schwinggeschwindigkeit / Amplitude
WA/MI/GE	Wohn-/Misch-/Gewerbegebiet gemäß Baunutzungsverordnung (BauNVO)

3 Situation vor Ort

Am 11.10.2024 wurden auf dem Grundstück des geplanten Baugebiets Erschütterungsmessungen durchgeführt, um die Erschütterungsimmissionen aus dem Schienenverkehr zu erfassen.

Das Baugebiet befindet sich in Hochhausen bei Tauberbischofsheim. Aktuell wird das geplante Baufeld landwirtschaftlich genutzt. Östlich des Baugebiets in ca. 7 m Entfernung verläuft die eingleisige Bahnstrecke 4920 von Lauda nach Wertheim. Die Baugrenze befindet sich in ca. 24 m Entfernung zum Gleis. Auf der Strecke verkehren ausschließlich Regionalbahnen (RB). Der Bahnhof Hochhausen, an dem alle Regionalbahnen halten, befindet sich in ca. 450 m Entfernung zum Baugebiet. Im Bereich des Bebauungsgebiets verläuft die Trasse auf einem Damm.

Zum Zeitpunkt der Messung lag für das Bebauungsgebiet kein Bodengutachten vor. Allerdings wurde uns das Bodengutachten für das Bauvorhaben eines Kindergartens im Eiersheimer Weg (Flurstücke 7025, 7026 und 7028) in Hochhausen zur Verfügung gestellt [06]. Es ist wahrscheinlich, dass an dem ca. 100 m entfernten Bebauungsgebiet ähnliche Bodenverhältnisse vorliegen. Bis zu einer Erkundungstiefe von 6,0 m liegt demnach Hanglehm vor.

4 Anforderungen zum Erschütterungsschutz

Die Beurteilung von Erschütterungen bei Einwirkungen auf Gebäude erfolgt i.d.R. gemäß DIN 4150 („Erschütterungen im Bauwesen“ [01]). In deren Teil 1 werden Prognose-Modelle für die Erschütterungsausbreitung und typische Einwirkungen infolge verschiedener Verursacher beschrieben. In Teil 2 werden Anhaltswerte für die Belästigung von Personen in Gebäuden angegeben.

DIN 4150 Teil 2 beurteilt die Belästigung von Anwohnern aufgrund der auf den Decken auftretenden maximalen bewerteten Schwingstärken sowie der Dauer der Einwirkung. Die Norm bezieht sich dabei auf Wohnungen bzw. Aufenthaltsräume. Der Nachweis beruht auf der Frequenzbewertung des Erschütterungssignals durch den KB-Filter. Nach der Frequenzbewertung kann die maximal bewertete Schwingstärke KB_{Fmax} je Zugvorbeifahrt bestimmt werden. In Abhängigkeit von der Beurteilungszeit T_r und der Einwirkungszeit T_e wird die Beurteilungsschwingstärke KB_{FT_r} nach Gl. 1 bestimmt. Die Einwirkungszeit T_e ergibt sich bei Erschütterungen infolge Schienenverkehr aus den Zugzahlen und der jeweiligen Passierdauer (hier: $t = 30$ s für Regionalverkehr).

$$KB_{FT_r} = KB_{FT_m} \cdot \sqrt{\frac{T_e}{T_r}} \quad \text{mit } T_r = 16 \text{ h (tags) bzw. } T_r = 8 \text{ h (nachts)} \quad (\text{Gl. 1})$$

Dabei stellt KB_{FT_m} den Taktmaximal-Effektivwert dar, welcher aus dem Mittelwert der quadrierten Taktmaximalwerte KB_{FT_i} ermittelt wird. Die Taktmaximalwerte KB_{FT_i} beziehen sich auf den Maximalwert des in 30 s Takte eingeteilte bewerteten Schwingstärkensignals $KB_F(t)$. Bei $KB_{FT_i} \leq 0,1$ wird der Wert zu 0 gesetzt.

Anhand der maximal bewerteten Schwingstärke KB_{Fmax} tags und nachts sowie der Beurteilungsschwingstärke KB_{FT_r} wird die Beurteilung der auftretenden Erschütterungen durchgeführt. Auf der Anhangseite A-8 sind die Anhaltswerte gemäß Tabelle 1 der Norm genannt, dabei wird die Gebietseinstufung

gemäß BauNVO berücksichtigt. Das Beurteilungsverfahren ist in drei Stufen untergliedert. Ist die maximal bewertete Schwingstärke $KB_{Fmax} \leq A_u$ ist der Nachweis erfüllt. Falls $KB_{Fmax} > A_u$ ist, wird in der nächsten Bewertungsstufe geprüft, ob KB_{Fmax} den oberen Anhaltswert A_o einhält. Falls $KB_{Fmax} > A_o$ ist, sind die Anforderungen nicht eingehalten. Wird der obere Anhaltswert A_o eingehalten, wird im letzten Beurteilungsschritt die Beurteilungsschwingstärke KB_{FT} bewertet. Falls $KB_{FT} \leq A_r$ gilt, ist der Nachweis erfüllt. Bei Einhaltung der Anhaltswerte nach DIN 4150-2 kann erwartet werden, „*dass in der Regel erhebliche Belästigungen von Menschen in Wohnungen und vergleichbar genutzten Räumen vermieden werden*“. Nach [01b] Abschnitt 6.5.3.5. hat der Anhaltswerts A_o nachts nicht die Bedeutung, dass bei dessen seltener Überschreitung die Anforderungen der Norm als nicht eingehalten gelten. Stattdessen kann für oberirdische Strecken gebietsunabhängig der Anhaltswert $A_o = 0,6$ gesetzt werden, falls es sich um seltene Überschreitungen handelt. Wird der Anhaltswert $A_o = 0,6$ überschritten, ist nach der Ursache der Überschreitung zu suchen.

Das Bebauungsgebiet soll als Allgemeines Wohngebiet (WA) eingestuft werden. Die Bewertung der prognostizierten Erschütterungen erfolgt demnach nach Zeile 4, der im Folgenden dargestellten Tabelle 1 [01b].

Tabelle 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	Einwirkungsort, in deren Umgebung vorwiegend oder ausschließlich Wohnungen untergebracht sind [...]	0,15	3	0,07	0,1	0,2/0,6*	0,05
* abweichender Anhaltswert für Erschütterungen infolge Schienenverkehr nach Kap. 6.5.3.5 der Norm							

5 Angaben zur Messung

Im Zuge der Messung wurden die Erschütterungsimmissionen infolge des westlich verlaufenden Schienenverkehrs erfasst. Die insgesamt sechs Messpunkte wurden in zwei Querschnitten senkrecht zur Gleisstrasse angeordnet. Ein Querschnitt bestand aus drei Messpunkten in jeweils 12 m, 24 m und 48 m Entfernung zur Gleisstrasse. Die beiden Messquerschnitte wurden mit 10 m Abstand zueinander angeordnet. Alle Messpunkte wurden mittels Erdspeie an das Erdreich angekoppelt. In Tabelle 2 sind alle Messpositionen mit Entfernungen zum Gleis sowie deren Ankopplung beschrieben. Die Lage der Messpunkte mit deren Abständen zum Gleis und eine Fotodokumentation der verwendeten Messaufnehmer sowie deren Ankopplung sind im Anhang auf Seite A3 – A7 dargestellt.

Tabelle 2: Übersicht der einzelnen Messpositionen mit Angaben zu Lage/Anordnung

Messquerschnitt	Bez.	Aufstellungsort	Abstand zum Gleis	Ankopplungsverfahren nach DIN 45669-2 [02b]
MQ 1	MP 1	Freifeld	12 m	Erdspeie
	MP 2		24 m	
	MP 3		48 m	
MQ 2	MP 4		12 m	
	MP 5		24 m	
	MP 6		48 m	

Weitere Informationen zu der verwendeten Messtechnik, Signalverarbeitung und Durchführung der Messung sowie die Position der Messpunkte sind Tabelle A1 zu entnehmen.

Während der Messung wurden insgesamt 10 Vorbeifahrten aufgezeichnet. Die Fahrtgeschwindigkeit der Züge wurde mit einer Geschwindigkeits-Radarpistole gemessen. Die mittlere Vorbeifahrtsgeschwindigkeit betrug 65 km/h.

Die prognostizierten Zugzahlen für das Jahr 2030 wurden aus dem Schallgutachten entnommen und sind in Tabelle 3 dargestellt [04].

Tabelle 3: Prognostizierte Zugzahlen 2030 für die Bahnstrecke 4920 zwischen Lauda und Wertheim [04]

Zuggattung	Zugzahlen Prognose Jahr 2030	
	Tag	Nacht
RB	29	7

Bei den Messergebnissen muss mit Messunsicherheiten gerechnet werden. Es ist Folgendes zu beachten:

- Gemäß DIN 45669-2: 2005-06 [2b] hält die gerätebedingte Messabweichung für unsere Klasse 1-Messgeräte mit hohem statistischen Vertrauensniveau die Vertrauensgrenzen von bis zu 15 % für effektivwertbasierte Messwerte (z.B. KB_F -Werte nach DIN 4150-2) und 20 % für Spitzenwerte (z.B. v_{max} -Werte nach DIN 4150-3) ein.
- Durch eine regelmäßige Kalibrierung unserer Messgeräte, durchgeführt von einem nach DIN EN ISO/IEC 17025 akkreditierten Kalibrierlabor, stellen wir sicher, diese gerätebedingten Abweichungen einzuhalten. Als Nachweis liegen uns zu den jeweiligen Messgeräten zugehörige Kalibrierscheine vor.
- Darüber hinaus sehen wir grundsätzlich eine Sensorankopplung gemäß DIN 45669-2 vor, sodass weitere wesentliche Messwertabweichungen vermieden werden. Sofern im Einzelfall die vor Ort realisierbaren Ankopplungen nicht vollständig den Anforderungen der Norm entsprechen, ist dies im Bericht gesondert aufgeführt.

6 Auswertung, Erschütterungsprognose

Im Folgenden werden aufbauend auf den gemessenen Schwinggeschwindigkeiten an den Messpunkten MP 1 bis MP 6 die Erschütterungsimmissionen prognostiziert und nach DIN 4150-2 bewertet. Nach DIN 45669-2 [02b] liefern Erdspieße aufgrund der unzureichenden horizontalen Ankopplung im Erdreich in horizontale Richtung ungenaue Ergebnisse. Die DB-Ril [07] geht noch einen Schritt weiter und gibt an, dass mit Erdspießen „nur Aussagen zu den vertikalen Messgrößen“ zuverlässig gewonnen werden können. Darum, und da die maßgebenden Erschütterungen auf der obersten Geschossdecke in vertikaler Richtung erwartet werden, wird im Folgenden die Prognose lediglich in vertikaler Richtung durchgeführt und beurteilt.

Im Anhang B sind die Signale der Messungen für repräsentative Zugvorbeifahrten im Zeit- und Frequenzbereich dargestellt.

Die Prognose der Erschütterungsimmissionen auf der obersten Geschossdecke erfolgt zunächst mittels pauschalen Übertragungsfaktoren, die Sicherheiten enthalten. Hierbei wird für die Übertragung der Erschütterungen von Boden auf das Fundament der Faktor 0,5 angesetzt. Bei der Übertragung der Erschütterungen vom Fundament auf die oberste Geschossdecke kommt es zu einer Überhöhung. Auf der konservativen Seite wird hier der Faktor 10 angesetzt. Somit ergibt sich für die Prognose der Erschütterungsimmissionen auf der obersten Geschossdecke:

$$v_{z,Decke} = v_{z,Boden} \times 0,5 \times 10$$

In Tabelle 4 ist die Beurteilung der prognostizierten Erschütterungen gemäß Norm dargestellt.

Tabelle 4: Beurteilung der prognostizierten Erschütterungen an MP 1 – M 6 in vertikale Richtung

Beurteilungswert	MP 1 z-Richt.	MP 2 z-Richt.	MP 3 z-Richt.	MP 4 z-Richt.	MP 5 z-Richt.	MP 6 z-Richt.
$KB_{FTm,RB} [-]$	0,350	0,171	0,048	0,507	0,214	0,088
$KB_{Fmax} [-]$	0,603	0,301	0,118	1,026	0,448	0,147
$KB_{FT,tags} [-]$	0,043	0,021	0,006	0,062	0,026	0,011
$KB_{FT,nachts} [-]$	0,030	0,015	0,004	0,043	0,018	0,008
$KB_{Fmax} \leq A_u (tags) = 0,15$	✗	✗	✓	✗	✗	✓
$KB_{Fmax} \leq A_o (tags) = 5$	✓	✓	✓	✓	✓	✓
$KB_{FT,tags} \leq A_r (tags) = 0,07$	✓	✓	entfällt	✓	✓	entfällt
Anforderung tags eingehalten	✓	✓	✓	✓	✓	✓
$KB_{Fmax} \leq A_u (nachts) = 0,1$	✗	✗	✗	✗	✗	✗
$KB_{Fmax} \leq A_o (nachts) = 0,2 (*0,6)$	✗	✓*	✓	✗	✓*	✓
$KB_{FT,nachts} \leq A_r (nachts) = 0,05$	entfällt	✓	✓	entfällt	✓	✓
Anforderung nachts eingehalten	✗	✓	✓	✗	✓	✓

*) Verweis auf den Abschnitt 6.5.3.5. der DIN 4150-2 (siehe Kapitel 4)

7 Fazit, Empfehlungen

An MP 1 und MP 4, in ca. 12 m Entfernung zum Gleis, werden die Anforderungen nach DIN 4150-2 nachts für Wohngebiete nicht eingehalten.

MP 2 und MP 5 befinden sich beide in ca. 24 m Entfernung zum Gleis. In dieser Entfernung befindet sich planmäßig die Baugrenze des Wohngebiets. An beiden Messpunkten wird der A_n – Wert tags und nachts überschritten. Allerdings wird im nächsten Beurteilungsschritt der Anhaltswert A_r tags und nachts eingehalten. Der obere Anhaltswert $A_o = 0,2$ (nachts) wird an beiden Messpunkten vereinzelt überschritten. Nach Abschnitt 6.5.3.5 der DIN 4150-2 hat eine seltene Überschreitung nicht die Bedeutung, dass die Anforderungen der Norm als nicht eingehalten gelten.

An MP 3 und MP 6, in ca. 48 m Entfernung zum Gleis werden die Anforderungen nach DIN 4150-2 mit Sicherheit eingehalten.

Damit kann davon ausgegangen werden, dass bei der nächstgelegenen Gebäudegrenze in ca. 24 m Entfernung zum Gleis, eine erhebliche Belästigung durch Erschütterungen infolge Schienenverkehr mit hoher Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen ist.

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

Höchberg - WML, Fd

Anhang A Allgemeines

Messdurchführung, Messtechnik, Messpositionen

Tabelle A1: Informationen zur Messdurchführung, Messtechnik und Messpositionen

Messzeit:	11.10.2024; 09:10 – 14:10 Uhr
Messort:	B-Plan „Kapelle II“ in Hochhausen, 97941 Tauberbischofsheim
Anmerkungen:	Messungen auf dem geplanten Baugrundstück zur Ermittlung der Erschütterungs- immissionen infolge des Schienenverkehrs auf den nahegelegenen Gleisen.
Messpunkte (MP):	<p>MP 1: auf Fundament, in ca. 18 m Entfernung zum nächstgelegenen Gleis Sensor 164, Funkknoten 164</p> <p>MP 2: auf Decke, in ca. 23 m Entfernung zum nächstgelegenen Gleis Sensor 163, Funkknoten 165</p> <p>MP 3: auf Fundament, in ca. 23 m Entfernung zum nächstgelegenen Gleis VS 3D-003, Funkknoten 166; ab 11:30 Uhr Sensor: 161, Funkknoten 221</p> <p>MP 4: auf Decke, in ca. 23 m Entfernung zum nächstgelegenen Gleis Sensor 162, Funkknoten 167</p> <p>MP 5: auf Decke, in ca. 23 m Entfernung zum nächstgelegenen Gleis VS 3D-002, Funkknoten 168</p> <p>MP 6 auf Decke, in ca. 23 m Entfernung zum nächstgelegenen Gleis VS 3D-004, Funkknoten 222</p> <p>x-Richtung: horizontal, parallel zur Bahntrasse, Richtung Norden y-Richtung: horizontal, senkrecht zur Bahntrasse z-Richtung: vertikal</p> <p>An den Erschütterungsmesspunkten wurde jeweils triaxial gemessen. Ankopplung der Erschütterungsmessgeräte gemäß DIN 45669.</p>
Messaufnehmer:	<p>SM-6 Geophone von Sensor Nederland, 3D mit Funkknoten Red-Sens, Hersteller Elovis GmbH</p> <p>MP 1 (Seriennummer: 0913-164), letzte Kalibrierung: 20.03.2023 MP 2 (Seriennummer: 0913-163), letzte Kalibrierung: 20.03.2023 MP 3 (Seriennummer: 0813-161), letzte Kalibrierung: 17.03.2023 MP 4 (Seriennummer: 0813-162), letzte Kalibrierung: 17.03.2023 MP 5 (Seriennummer: VS-3D.00.0002), letzte Kalibrierung: 26.07.2024 MP 6 (Seriennummer: VS-3D.00.0004), letzte Kalibrierung: 26.07.2024</p> <p>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.</p>
Messdatenerfassung und –verarbeitung:	<p>MP 1 ÷ MP 6: DELL Latitude 5521 mit USB-Antenne Mess- und Auswertesoftware MEDA_AD Version 2023-1 WÖLFEL Monitoring Systems GmbH + Co. KG</p>

Umfeldbedingungen:	Während der Messung wurden Zug-Vorbeifahrten in beide Fahrtrichtungen erfasst. Die Umweltbedingungen waren sonnig bei ca. 12°C.
--------------------	--

Für die Durchführung der Messung verantwortlich war Marie-Louis Weiß, M. Sc. (Wölfel Engineering, Höchberg).

Lageplan

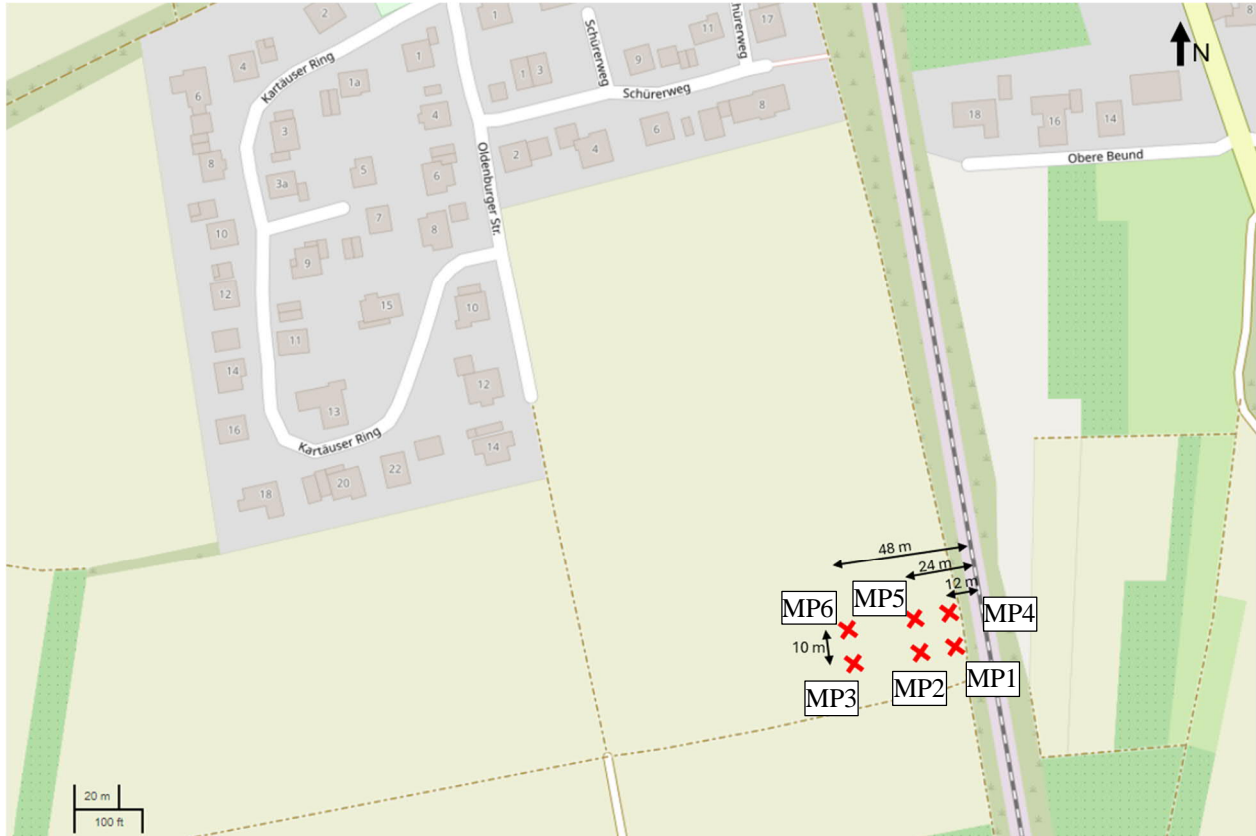


Abbildung A1: Lageplan und Anordnung der Messpunkte MP 1 - MP 6 (Quelle Hintergrundkarte: OpenStreetMap)

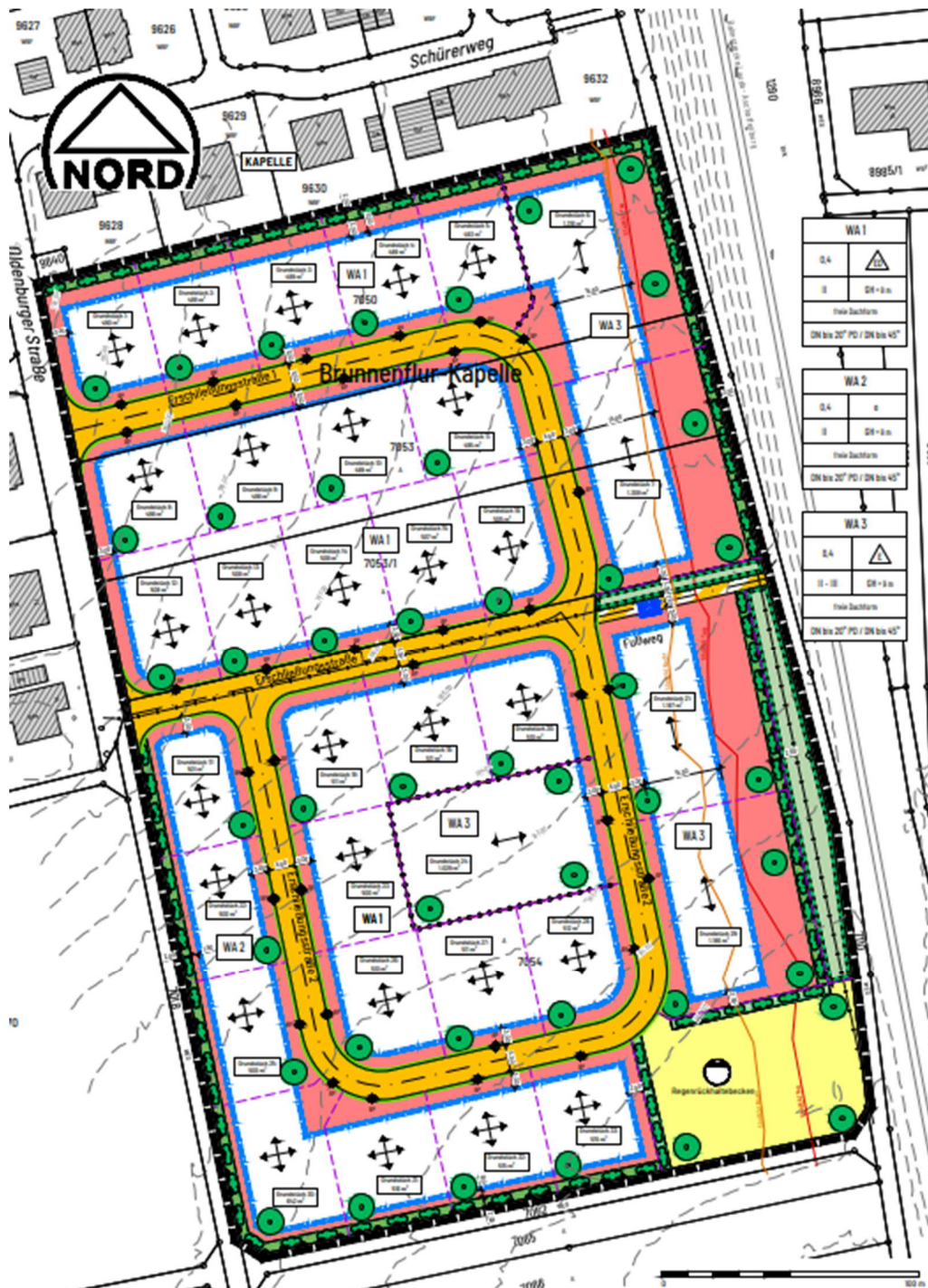


Abbildung A2: Bebauungsplan „Kapelle II“ (WA) in Hochhausen [05]

Fotodokumentation

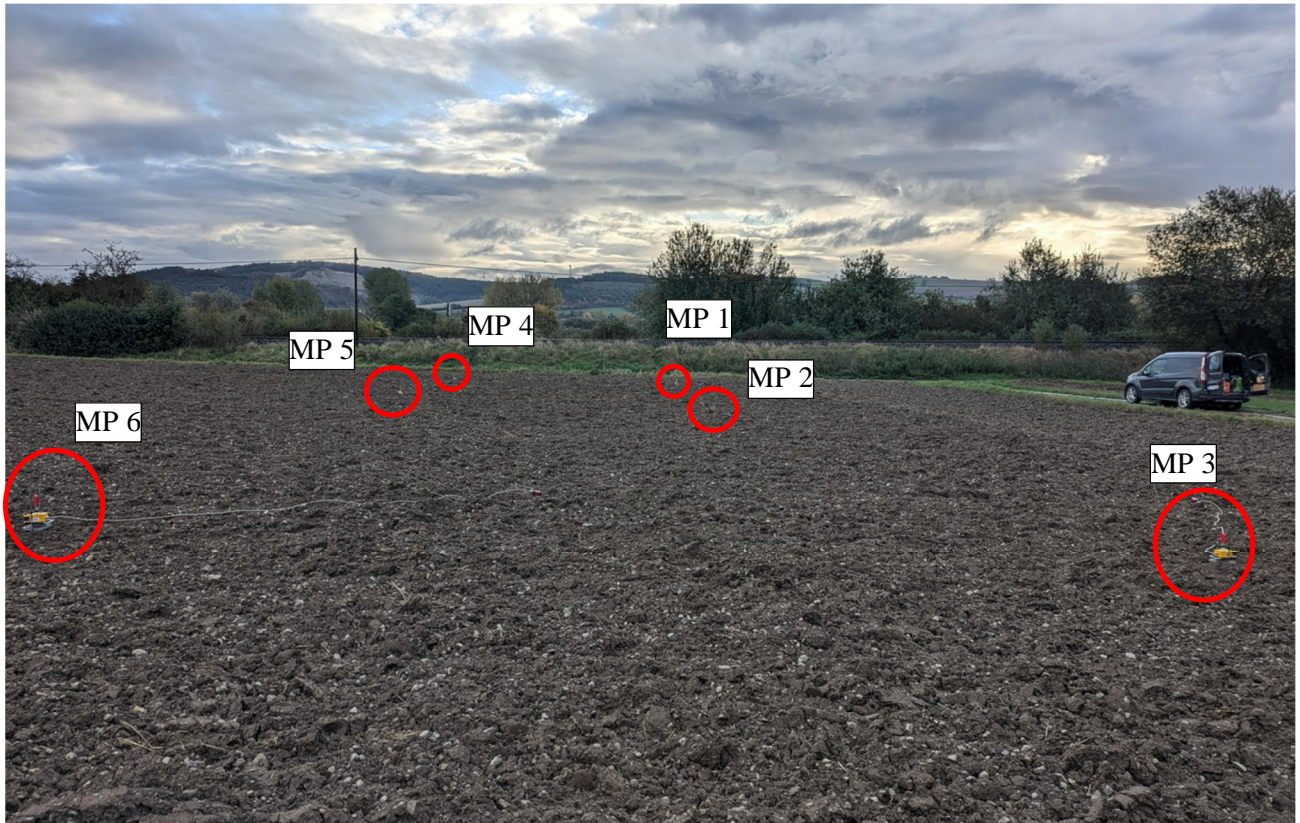


Abbildung A3: Messpunkte MP 1 bis MP 6 (Quelle: Wölfel Engineering GmbH + Co. KG)

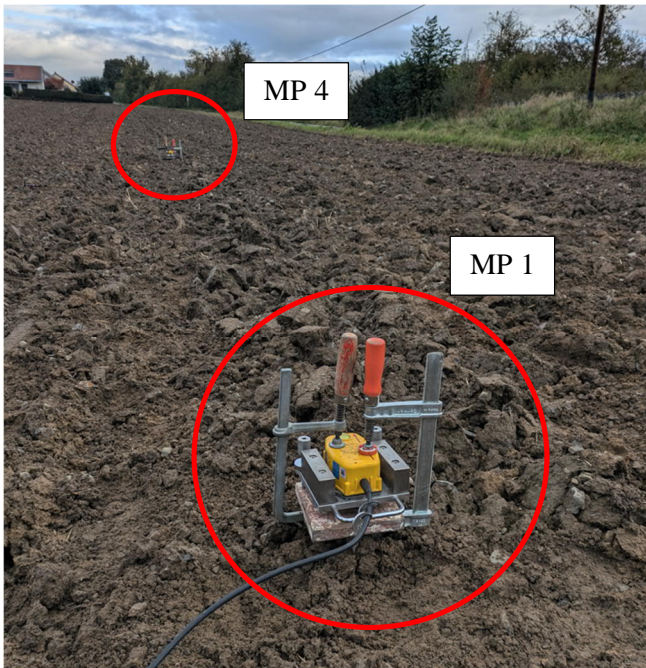


Abbildung A4: Messpunkte MP 1 und MP 4 (Quelle: Wölfel Engineering GmbH + Co. KG)



Abbildung A5: Messpunkte MP 4 (Quelle: Wölfel Engineering GmbH + Co. KG)

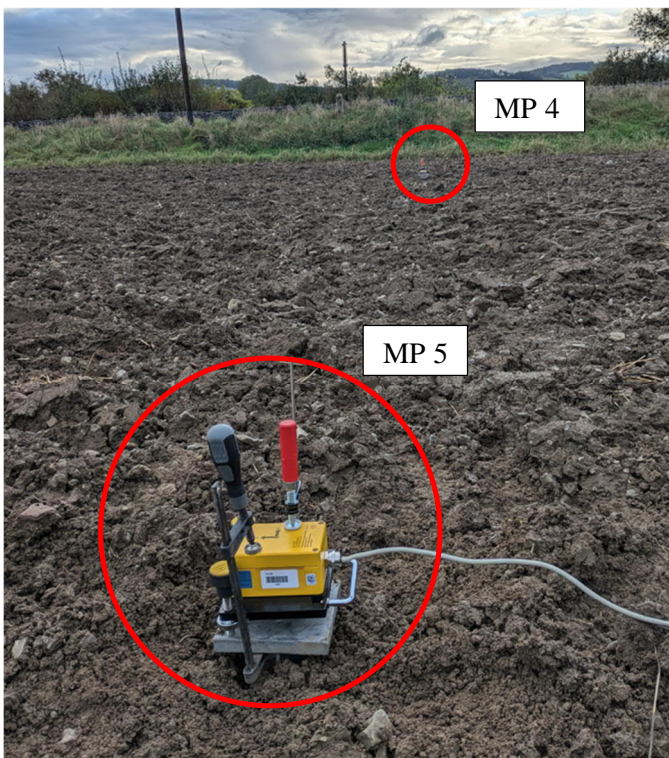


Abbildung A6: Messpunkt MP 4 und MP 5 (Quelle: Wölfel Engineering GmbH + Co. KG)

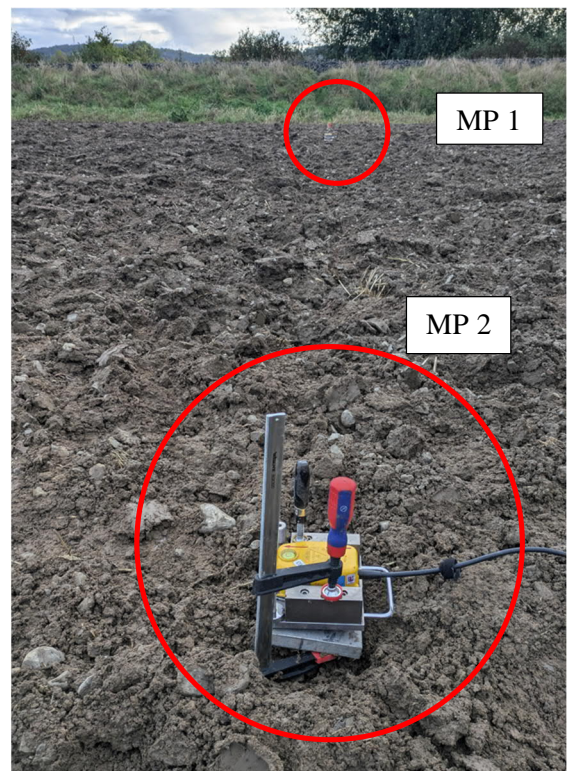


Abbildung A7: Messpunkt MP 1 und MP 2
(Quelle: Wölfel Engineering GmbH + Co. KG)

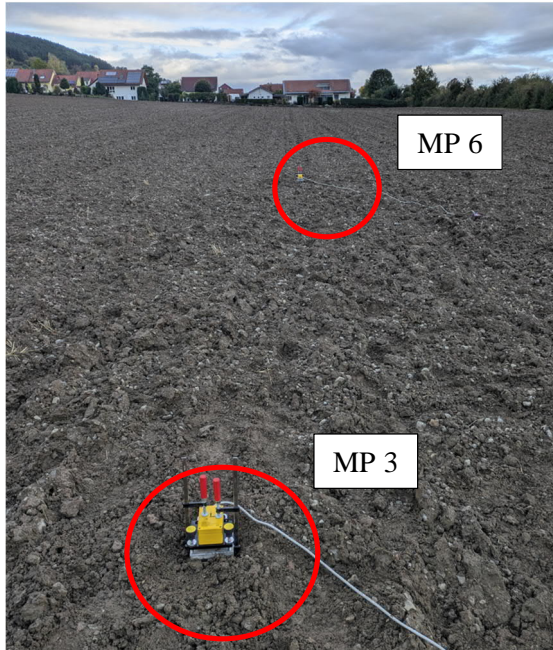


Abbildung A8: Messpunkt MP 3 und MP 6
(Quelle: Wölfel Engineering GmbH + Co. KG)

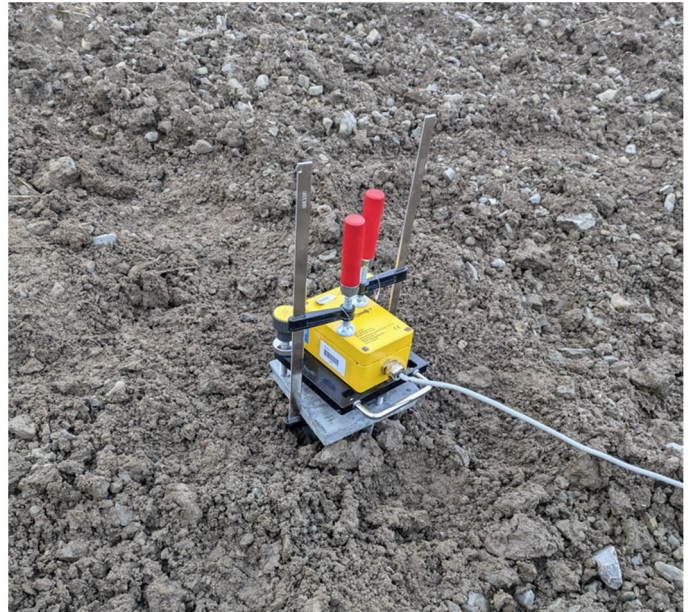


Abbildung A9: Messpunkt MP 6 (Quelle: Wölfel Engineer-
ing GmbH + Co. KG)

Anhaltswerte zur Beurteilung der Erschütterungen

Tabelle A2: 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	A _o	A _r
		... gemäß Erschütterungsleitlinie	IW _u	IW _o	IW _r	IW _u	IW _o	IW _r
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_{FTr} gebildet werden, welche die Einwirkzeiten je Tag berücksichtigt, in denen die Erschütterungen auftreten. Ist diese Beurteilungsschwingstärke KB_{FTr} 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) [9]. Sie decken sich mit den Anhaltswerten A_o , A_u und A_r der DIN 4150-2.

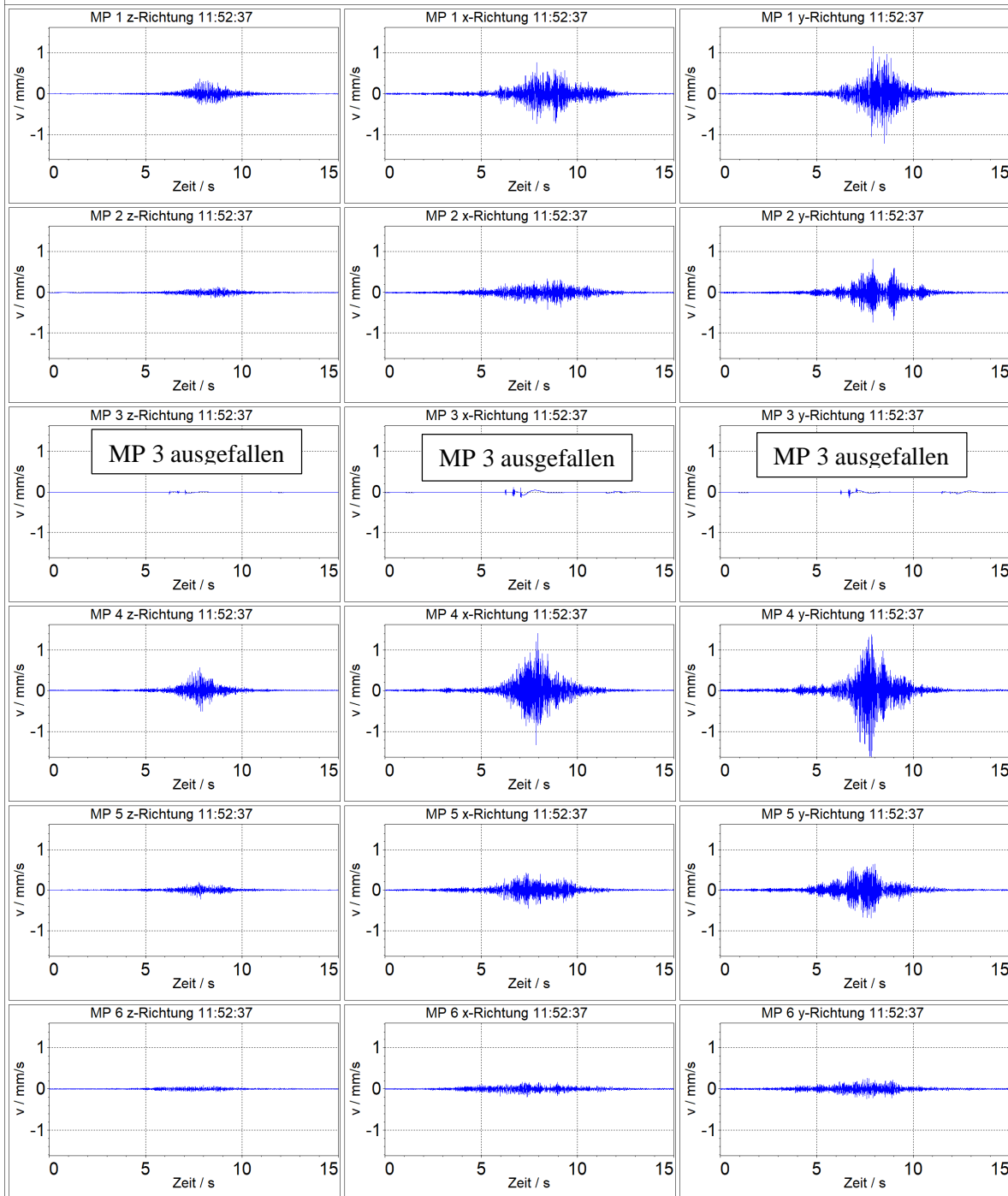
Anhang B Ausgewählte Signale, Darstellung im Zeit- und Frequenzbereich

Messort: B-Plan „Kapelle II“ in Hochhausen

Messpunkte: MP 1 – MP 6

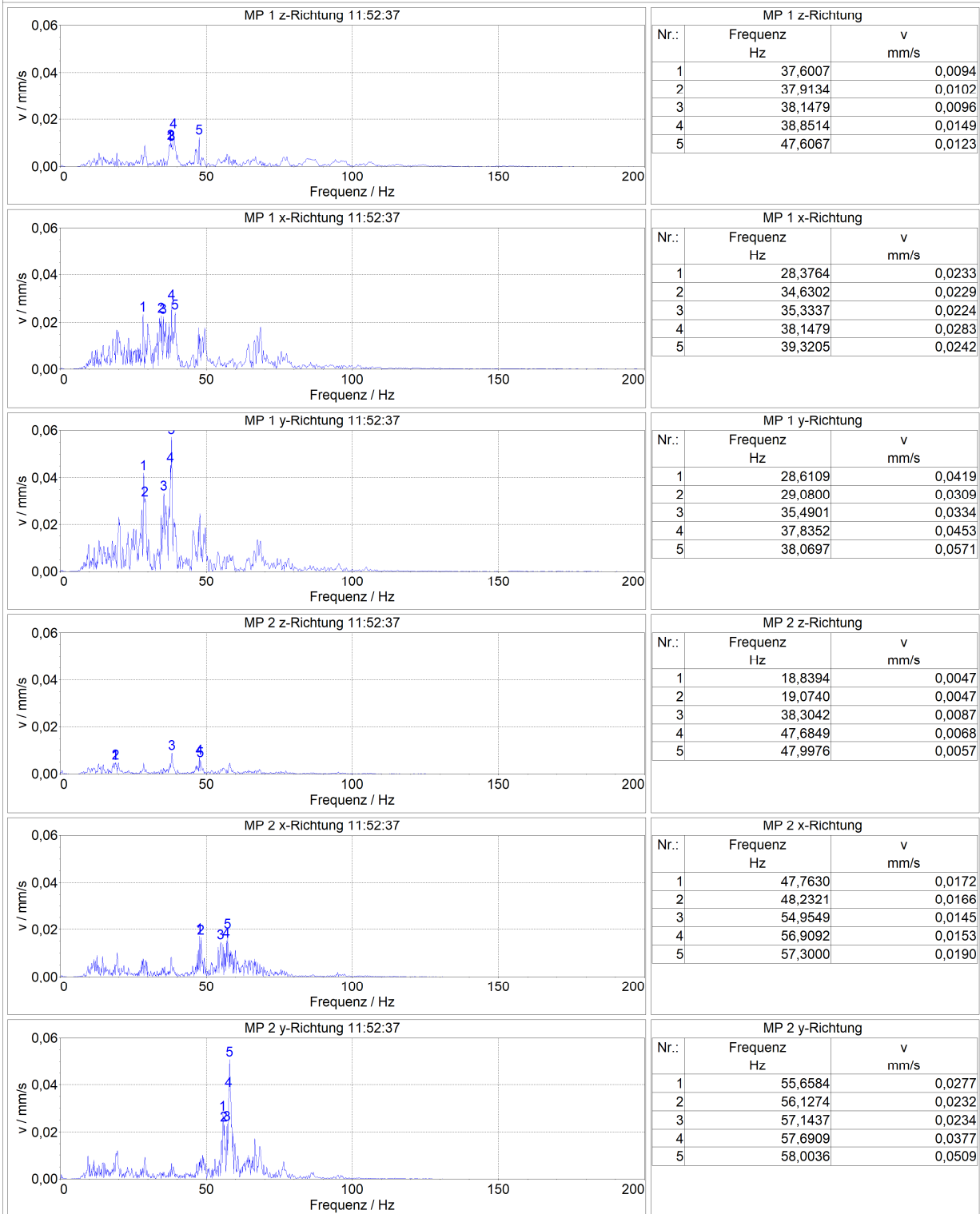
Erschütterungsquelle: Schienenverkehr (RB 11:52 Uhr, Richtung Süden)

Darstellung: Schwinggeschwindigkeit im Zeitverlauf, alle 3 Raumrichtungen



Messort: B-Plan „Kapelle II“ in Hochhausen
Messpunkte: MP 1 – MP 2

Erschütterungsquelle: Schienenverkehr (RB 11:52 Uhr, Richtung Süden)
Darstellung: Schwinggeschwindigkeit im Schmalbandspektrum, alle 3 Raumrichtungen

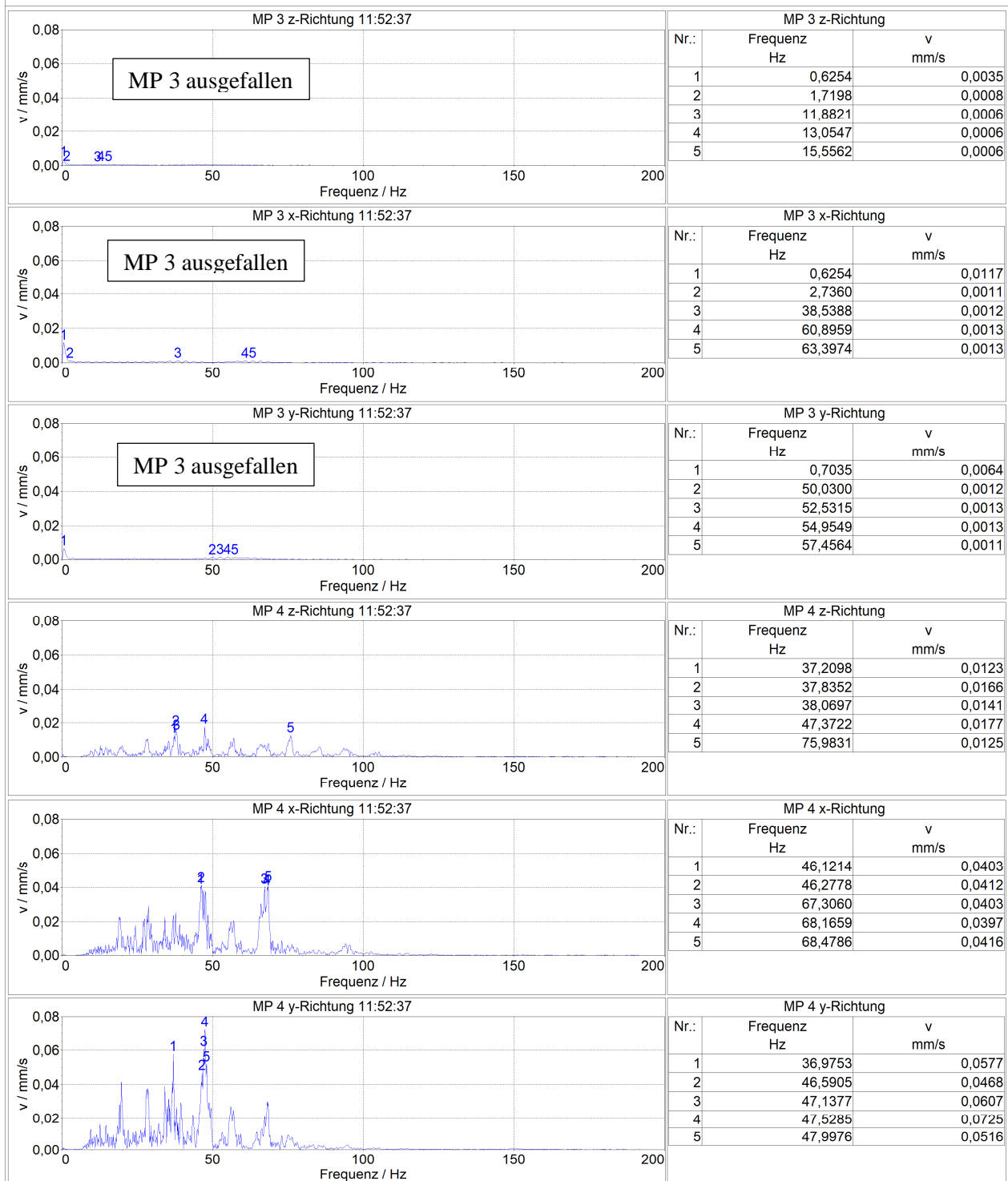


Messort: B-Plan „Kapelle II“ in Hochhausen

Messpunkte: MP 3 – MP 4

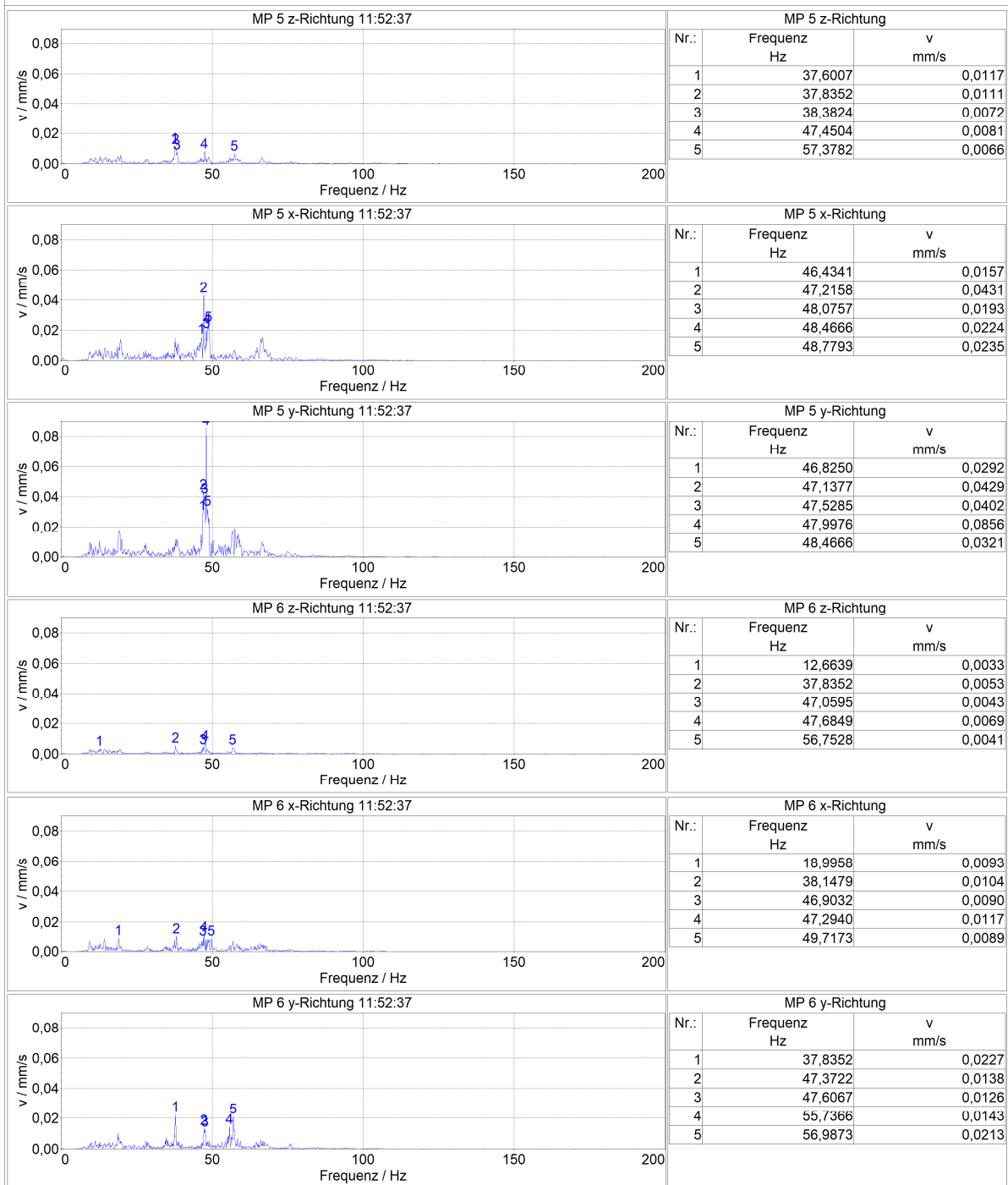
Erschütterungsquelle: Schienenverkehr (RB 11:52 Uhr, Richtung Süden)

Darstellung: Schwingengeschwindigkeit im Schmalbandspektrum, alle 3 Raumrichtungen



Messort: B-Plan „Kapelle II“ in Hochhausen
Messpunkte: MP 5 – MP 6

Erschütterungsquelle: Schienenverkehr (RB 11:52 Uhr, Richtung Süden)
Darstellung: Schwinggeschwindigkeit im Schmalbandspektrum, alle 3 Raumrichtungen

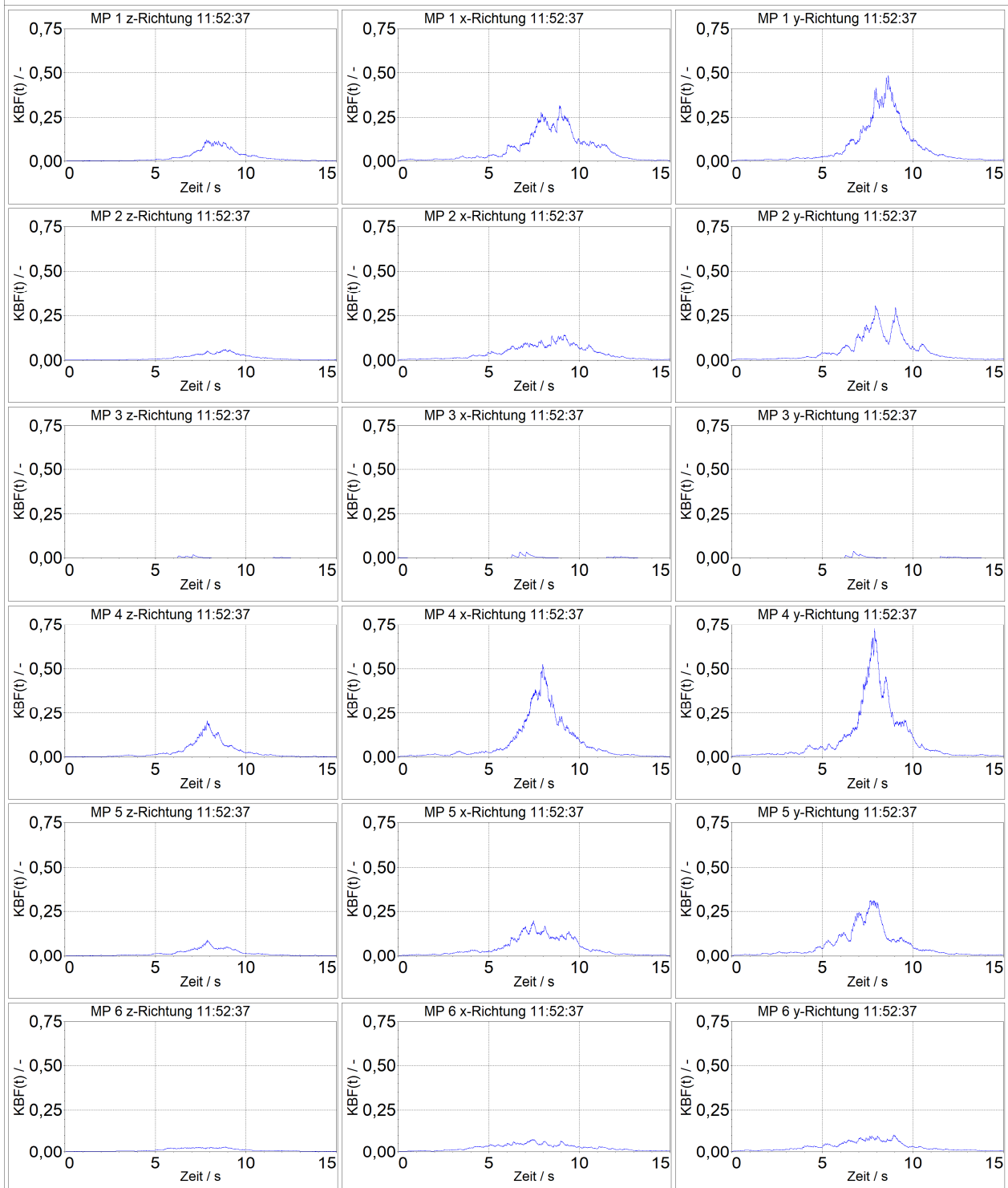


Messort: B-Plan „Kapelle II“ in Hochhausen

Messpunkte: MP 1 – MP 6

Erschütterungsquelle: Schienenverkehr (RB 11:52 Uhr, Richtung Süden)

Darstellung: Gleitender Effektivwert der Schwingungsgeschwindigkeit, alle 3 Raumrichtungen

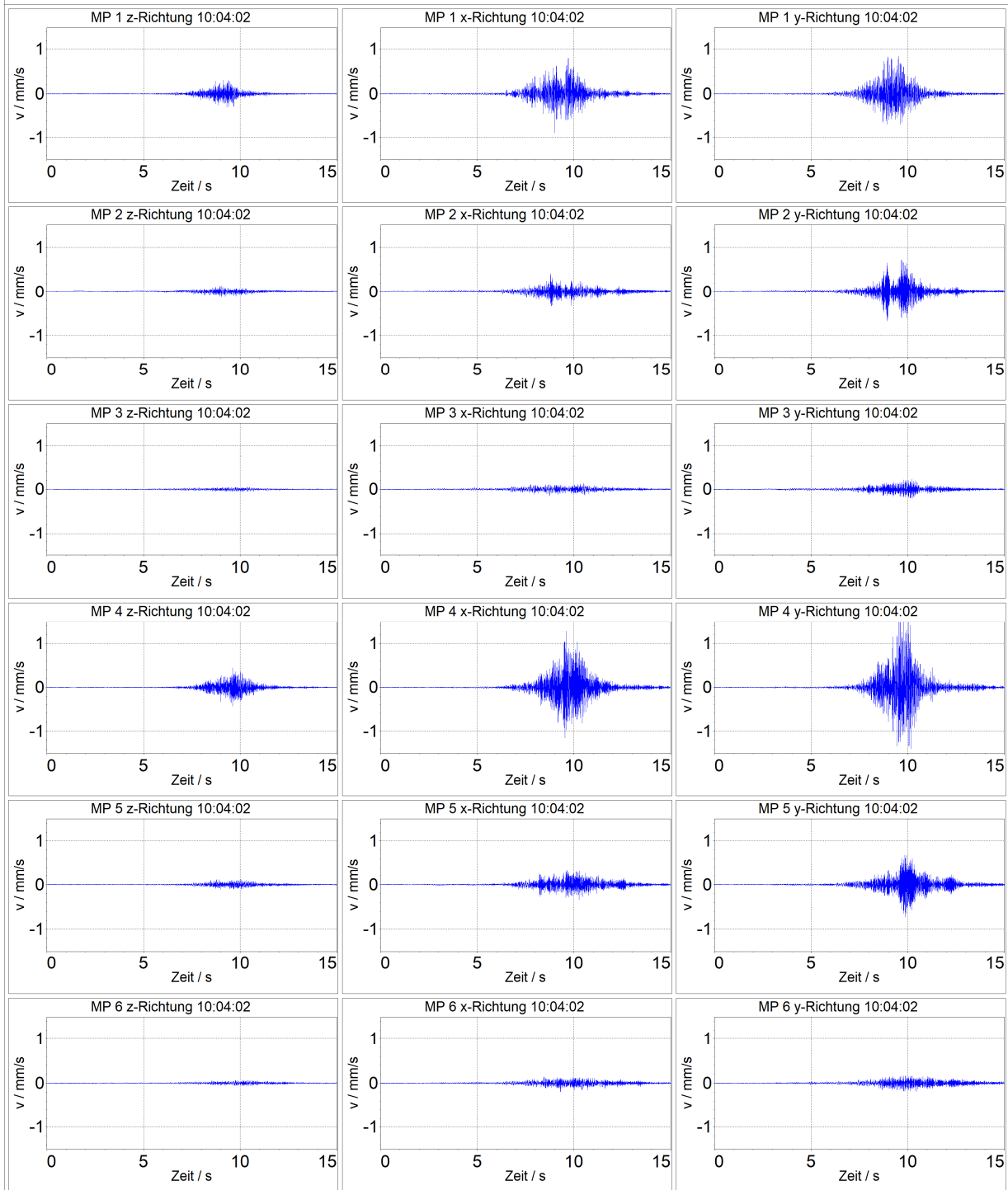


Messort: B-Plan „Kapelle II“ in Hochhausen

Messpunkte: MP 1 – MP 6

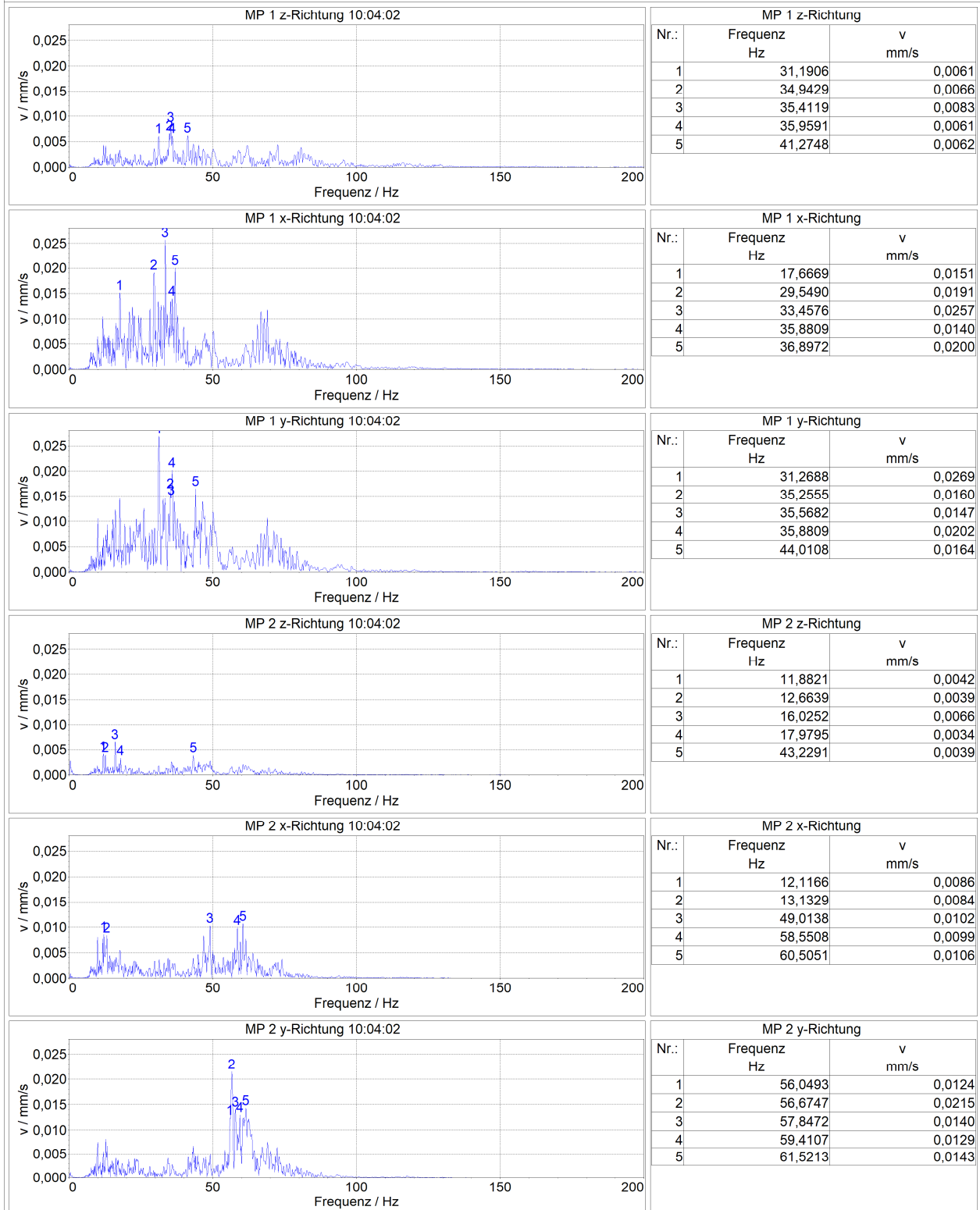
Erschütterungsquelle: Schienenverkehr (RB 10:04 Uhr, Richtung Norden)

Darstellung: Schwinggeschwindigkeit im Zeitverlauf, alle 3 Raumrichtungen



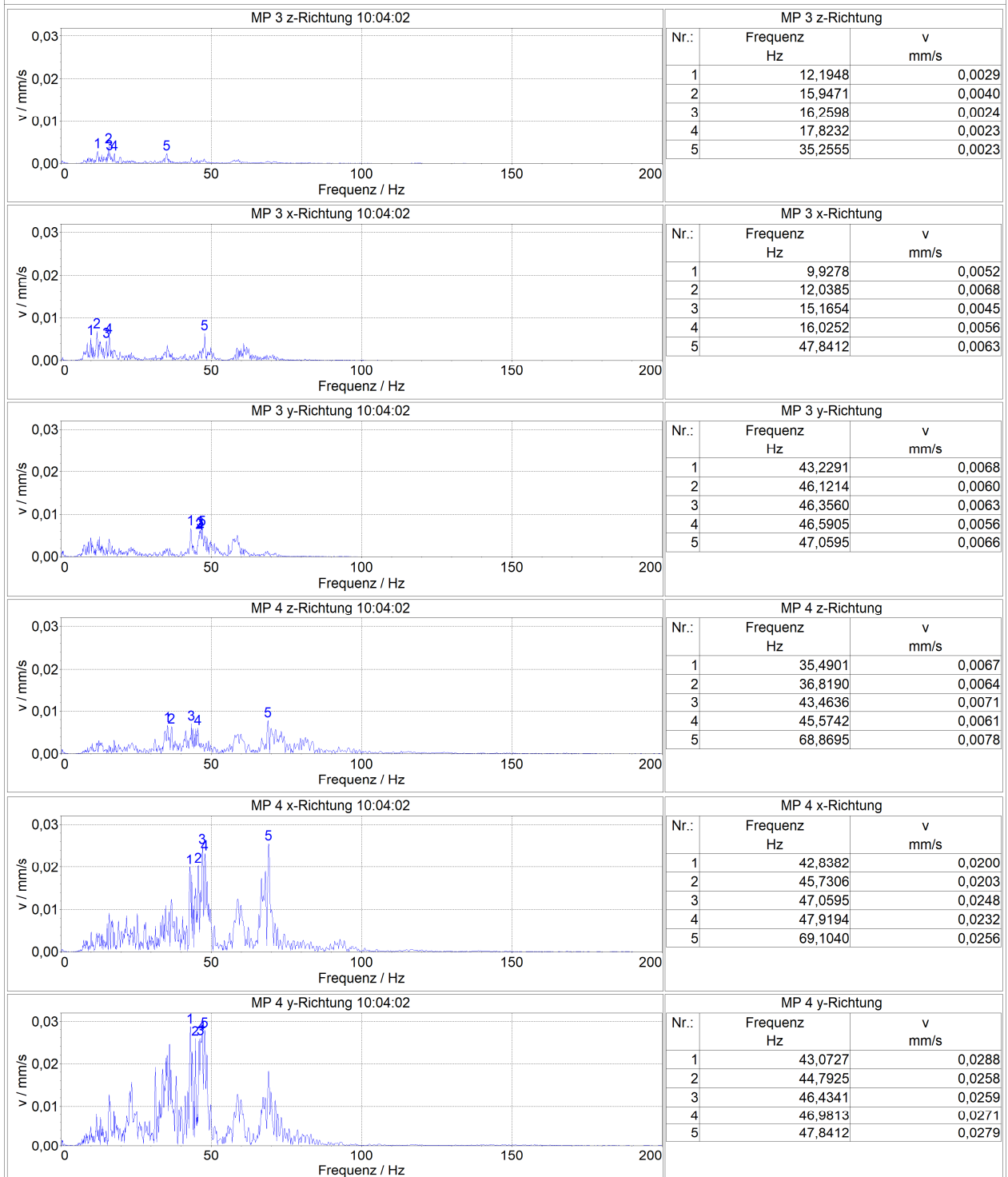
Messort: B-Plan „Kapelle II“ in Hochhausen
Messpunkte: MP 1 – MP 2

Erschütterungsquelle: Schienenverkehr (RB 10:04 Uhr, Richtung Norden)
Darstellung: Schwinggeschwindigkeit im Schmalbandspektrum, alle 3 Raumrichtungen



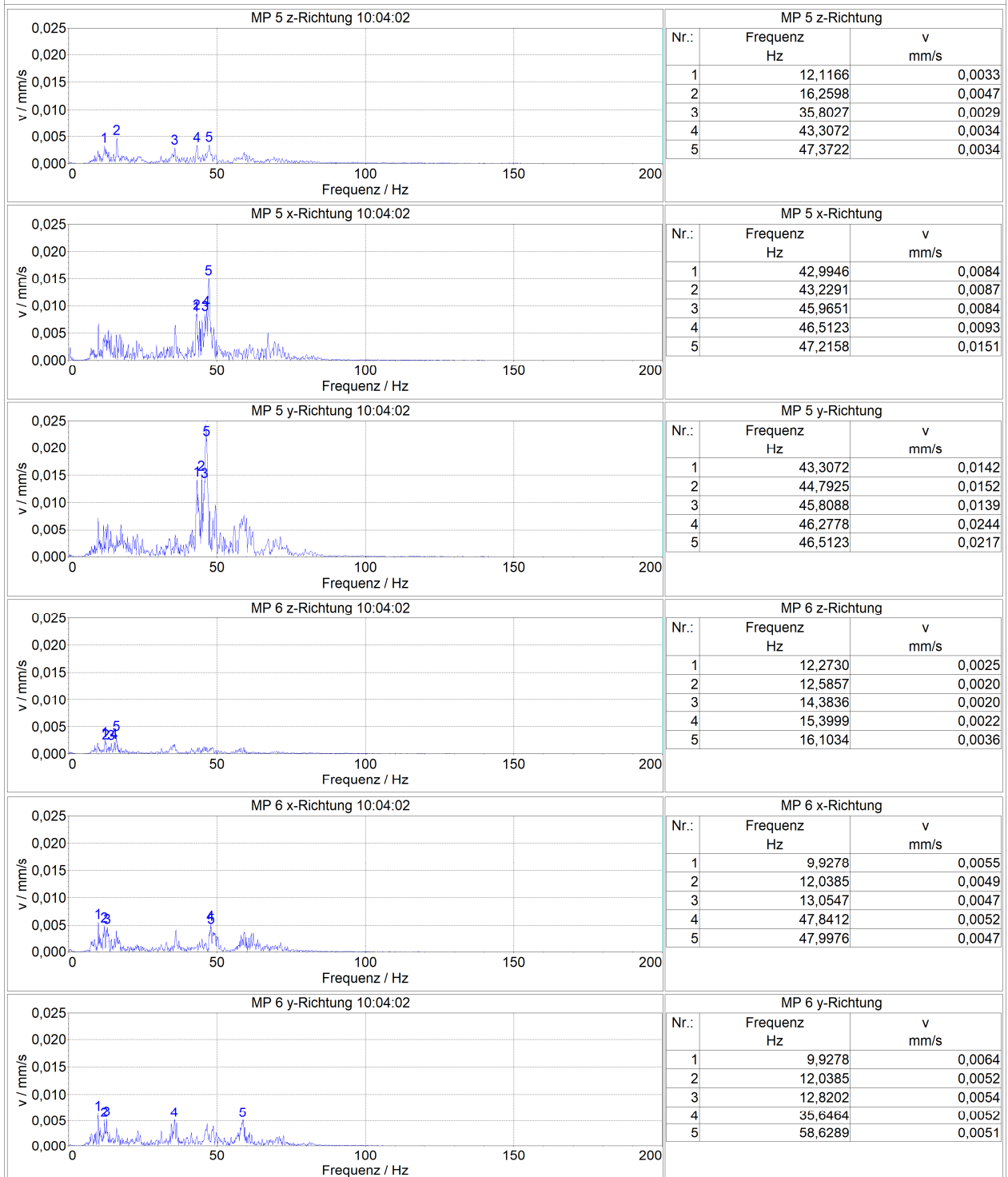
Messort: B-Plan „Kapelle II“ in Hochhausen
Messpunkte: MP 3 – MP 4

Erschütterungsquelle: Schienenverkehr (RB 10:04 Uhr, Richtung Norden)
Darstellung: Schwinggeschwindigkeit im Schmalbandspektrum, alle 3 Raumrichtungen



Messort: B-Plan „Kapelle II“ in Hochhausen
Messpunkte: MP 5 – MP 6

Erschütterungsquelle: Schienenverkehr (RB 10:04 Uhr, Richtung Norden)
Darstellung: Schwinggeschwindigkeit im Schmalbandspektrum, alle 3 Raumrichtungen



Messort: B-Plan „Kapelle II“ in Hochhausen
Messpunkte: MP 1 – MP 6

Erschütterungsquelle: Schienenverkehr (RB 10:04 Uhr, Richtung Norden)
Darstellung: Gleitender Effektivwert der Schwinggeschwindigkeit, alle 3 Raumrichtungen

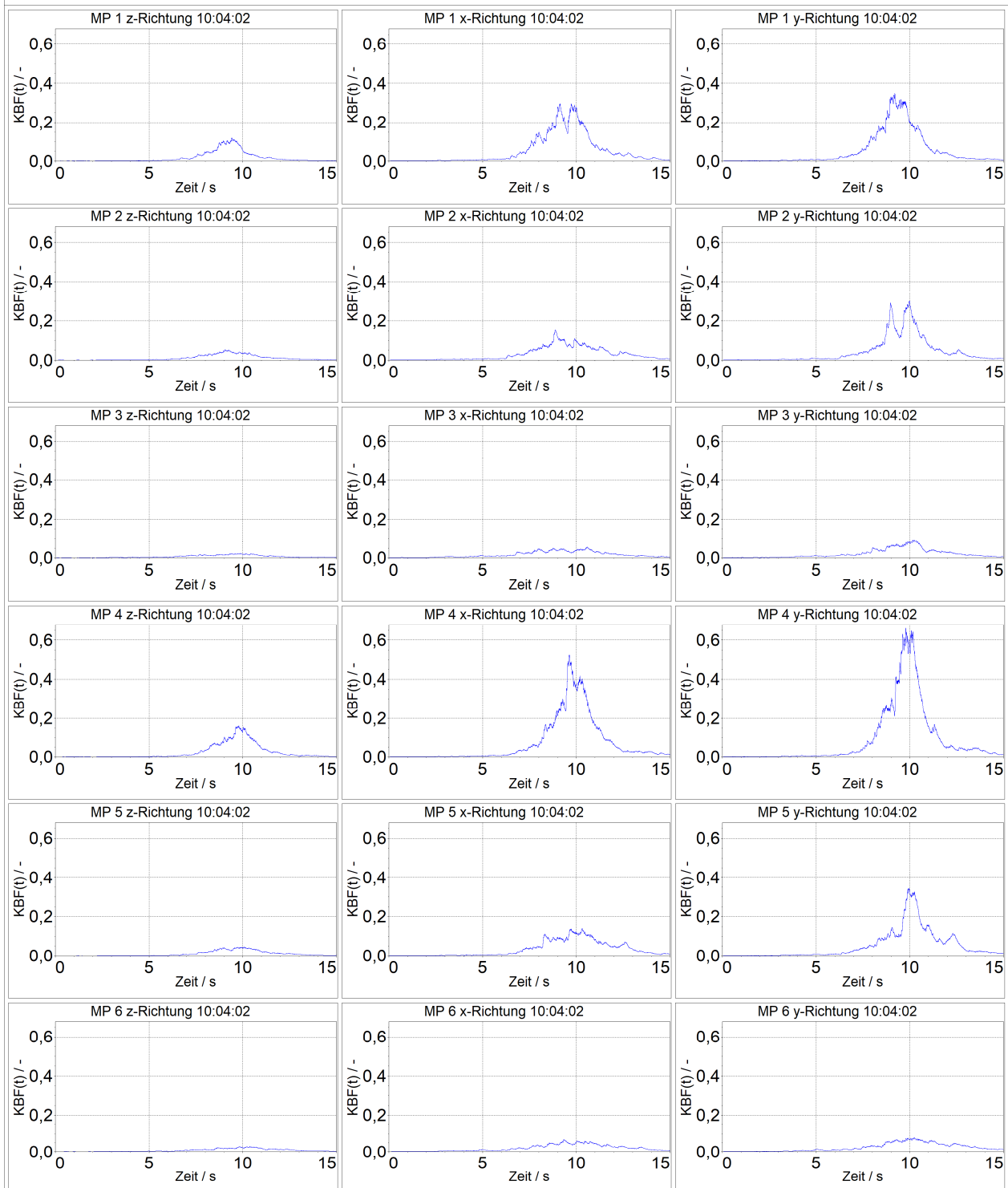


Tabelle B1: Gemessene KB KB_{FTi} -Werte der Zugvorbeifahrten für MP 1 bis MP 3

					Messwerte KB_{FTi} [-]								
Zug	Uhr- zeit	Zugtyp	Fahrtrich- tung	Gleis	MP 1 nach Norm [-]			MP 2 nach Norm [-]			MP 3 nach Norm [-]		
Nr					z	x	y	z	x	y	z	x	y
1	09:52	RB	Süden	1	0,000	0,157	0,165	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2	10:04	RB	Norden	1	0,119	0,298	0,349	0,000	0,154	0,299	0,000	0,000	0,000
3	11:01	RB	Süden	1	0,000	0,163	0,183	0,000	0,000	0,133	MP ausgefallen		
4	11:09	RB	Norden	1	MP ausgefallen			0,000	0,000	0,000	MP ausgefallen		
5	11:52	RB	Süden	1	0,121	0,317	0,485	0,000	0,142	0,304	MP ausgefallen		
6	12:04	RB	Norden	1	0,000	0,164	0,162	0,000	0,000	0,000	MP ausgefallen		
7	13:00	RB	Süden	1	0,000	0,213	0,238	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
8	13:07	RB	Norden	1	0,000	0,239	0,265	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
9	13:54	RB	Süden	1	0,000	0,205	0,209	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
10	14:03	RB	Norden	1	0,000	0,196	0,212	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Tabelle B2: Gemessene KB KB_{FTi} -Werte der Zugvorbeifahrten für MP 4 bis MP 6

					Messwerte KB_{FTi} [-]								
Zug	Uhr- zeit	Zugtyp	Fahrtrich- tung	Gleis	MP 4 nach Norm [-]			MP 5 nach Norm [-]			MP 6 nach Norm [-]		
Nr					z	x	y	z	x	y	z	x	y
1	09:52	RB	Süden	1	0,000	0,156	0,211	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2	10:04	RB	Norden	1	0,161	0,523	0,661	0,000	0,141	0,343	0,000	0,000	0,000
3	11:01	RB	Süden	1	0,000	0,178	0,228	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
4	11:09	RB	Norden	1	0,000	0,197	0,316	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
5	11:52	RB	Süden	1	0,205	0,525	0,725	0,000	0,199	0,311	0,000	0,000	0,102
6	12:04	RB	Norden	1	0,000	0,206	0,232	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
7	13:00	RB	Süden	1	0,000	0,175	0,250	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
8	13:07	RB	Norden	1	0,000	0,188	0,213	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
9	13:54	RB	Süden	1	0,000	0,175	0,224	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
10	14:03	RB	Norden	1	0,000	0,152	0,150	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Tabelle B3: Gemessene KB KB_{FTi} -Werte der Zugvorbeifahrten für MP 1 bis MP 3

		MP 1 nach Norm [-]			MP 2 nach Norm [-]			MP 3 nach Norm [-]		
		z	x	y	z	x	y	z	x	y
KB_{FTm}	RB	0,057	0,224	0,271	0,000	0,066	0,141	0,000	0,000	0,000
KB_{Fmax}		0,121	0,317	0,485	0,060	0,154	0,304	0,024	0,056	0,095
$KB_{FT,tag}$		0,007	0,028	0,033	0,000	0,008	0,017	0,000	0,000	0,000
$KB_{FT,nacht}$		0,005	0,019	0,023	0,000	0,006	0,012	0,000	0,000	0,000

Tabelle B4: Gemessene KB KB_{FTi} -Werte der Zugvorbeifahrten für MP 4 bis MP 6

		MP 4 nach Norm [-]			MP 5 nach Norm [-]			MP 6 nach Norm [-]		
		z	x	y	z	x	y	z	x	y
KB_{FTm}	RB	0,082	0,284	0,373	0,000	0,077	0,147	0,000	0,000	0,032
KB_{Fmax}		0,205	0,525	0,725	0,090	0,199	0,343	0,029	0,075	0,102
$KB_{FT,tag}$		0,010	0,035	0,046	0,000	0,009	0,018	0,000	0,000	0,004
$KB_{FT,nacht}$		0,007	0,024	0,032	0,000	0,007	0,013	0,000	0,000	0,003

Tabelle B5: Prognostizierte KB KB_{FTi} -Werte der Zugvorbeifahrten für MP 1 bis MP 3

					Messwerte KB_{Fi} [-]								
Zug Nr	Uhr- zeit	Zugtyp	Fahrtrich- tung	Gleis	MP 1 nach Norm [-]			MP 2 nach Norm [-]			MP 3 nach Norm [-]		
					z	x	y	z	x	y	z	x	y
1	09:52	RB	Süden	1	0,193	0,392	0,412	0,000	0,108	0,152	0,000	0,000	0,000
2	10:04	RB	Norden	1	0,596	0,745	0,873	0,265	0,384	0,748	0,118	0,140	0,237
3	11:01	RB	Süden	1	0,306	0,408	0,458	0,121	0,145	0,333	MP ausgefallen		
4	11:09	RB	Norden	1	MP ausgefallen			0,154	0,138	0,191	MP ausgefallen		
5	11:52	RB	Süden	1	0,603	0,793	1,213	0,301	0,355	0,761	MP ausgefallen		
6	12:04	RB	Norden	1	0,260	0,411	0,405	0,156	0,115	0,168	MP ausgefallen		
7	13:00	RB	Süden	1	0,256	0,532	0,595	0,144	0,137	0,199	0,000	0,111	0,000
8	13:07	RB	Norden	1	0,219	0,597	0,662	0,145	0,130	0,149	0,000	0,000	0,000
9	13:54	RB	Süden	1	0,193	0,511	0,522	0,108	0,107	0,163	0,000	0,000	0,000
10	14:03	RB	Norden	1	0,183	0,490	0,529	0,128	0,000	0,131	0,000	0,000	0,000

Tabelle B6: Prognostizierte KB KB_{FTi} -Werte der Zugvorbeifahrten für MP 4 bis MP 6

					Messwerte KB_{Fi} [-]								
Zug Nr	Uhr- zeit	Zugtyp	Fahrtrich- tung	Gleis	MP 4 nach Norm [-]			MP 5 nach Norm [-]			MP 6 nach Norm [-]		
					z	x	y	z	x	y	z	x	y
1	09:52	RB	Süden	1	0,252	0,390	0,528	0,110	0,132	0,158	0,000	0,000	0,000
2	10:04	RB	Norden	1	0,803	1,308	1,653	0,230	0,351	0,859	0,139	0,168	0,195
3	11:01	RB	Süden	1	0,493	0,444	0,571	0,139	0,150	0,219	0,000	0,000	0,107
4	11:09	RB	Norden	1	0,324	0,492	0,789	0,147	0,137	0,178	0,113	0,000	0,000
5	11:52	RB	Süden	1	1,026	1,313	1,812	0,448	0,498	0,778	0,147	0,188	0,255
6	12:04	RB	Norden	1	0,297	0,515	0,579	0,155	0,169	0,199	0,115	0,000	0,000
7	13:00	RB	Süden	1	0,324	0,437	0,625	0,183	0,162	0,190	0,103	0,000	0,000
8	13:07	RB	Norden	1	0,333	0,470	0,533	0,215	0,143	0,180	0,000	0,104	0,143
9	13:54	RB	Süden	1	0,253	0,439	0,559	0,121	0,109	0,155	0,000	0,000	0,000
10	14:03	RB	Norden	1	0,308	0,380	0,376	0,181	0,112	0,158	0,000	0,000	0,104

Tabelle B7: Prognostizierte KB KB_{FTi} -Werte der Zugvorbeifahrten für MP 1 bis MP 3

		MP 1 nach Norm [-]			MP 2 nach Norm [-]			MP 3 nach Norm [-]		
KB_{FTm}	RB	z	x	y	z	x	y	z	x	y
		0,350	0,559	0,677	0,171	0,196	0,380	0,048	0,073	0,097
	KB_{Fmax}	0,603	0,793	1,213	0,301	0,384	0,761	0,118	0,140	0,237
	$KB_{FT,tag}$	0,043	0,069	0,083	0,021	0,024	0,047	0,006	0,009	0,012
	$KB_{FT,nacht}$	0,030	0,048	0,058	0,015	0,017	0,032	0,004	0,006	0,008

Tabelle B8: Prognostizierte KB KB_{FTi} -Werte der Zugvorbeifahrten für MP 4 bis MP 6

		MP 4 nach Norm [-]			MP 5 nach Norm [-]			MP 6 nach Norm [-]		
KB_{FTm}	RB	z	x	y	z	x	y	z	x	y
		0,507	0,710	0,933	0,214	0,230	0,400	0,088	0,086	0,121
	KB_{Fmax}	1,026	1,313	1,812	0,448	0,498	0,859	0,147	0,188	0,255
	$KB_{FT,tag}$	0,062	0,087	0,115	0,026	0,028	0,049	0,011	0,011	0,015
	$KB_{FT,nacht}$	0,043	0,061	0,080	0,018	0,020	0,034	0,008	0,007	0,010