

**Planfeststellung – Umbau Bahnhof Wilhelmshöhe
Erschütterungsmessung im Bestand, Erschütterungsprognose und Bewertung**

Auftraggeber: Kasseler Verkehrs-Gesellschaft AG
Herr Dirk Neubauer
Wilhelmshöher Allee
34117 Kassel

Berichtsnummer: Y0879.001.01.001

Dieser Bericht umfasst 11 Seiten Text und 20 Seiten Anhang.





Akkreditierung nach
DIN EN ISO/IEC 17025
für die Prüfarten Geräusche,
Erschütterungen und Bauakus-
tik

Höchberg, 27.04.2021

Bekanntgegebene
Messstelle nach
§ 29b BImSchG
für Geräusche und
Erschütterungen


Clarissa Rapps, M. Sc.
Bearbeitung


Dr.-Ing. Markus Richter
Prüfung
fachliche Verantwortung


Prof. Dr.-Ing. Max Gündel
Freigabe

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

Änderungsindex

Version	Datum	Geänderte Seiten	Hinzugefügte Seiten	Erläuterungen
001	27.04.2021	-	-	Erstellung

Inhaltsverzeichnis

1	Aufgabenstellung	3
2	Unterlagen, Abkürzungen	3
2.1	Unterlagenverzeichnis.....	3
2.2	Abkürzungsverzeichnis	4
3	Situation vor Ort, Bestand und Planung.....	5
3.1	Situation vor Ort, Gelände und umgebende Einflüsse	5
3.2	Messeinrichtung, Messpositionen	5
4	Anforderungen zum Erschütterungsschutz.....	6
5	Ergebnisse der Messung.....	7
5.1	Ergebnisse der Rohdaten.....	7
5.2	Weiterführende Auswertung nach DIN 4150-2	8
5.3	Berücksichtigung der Ausbreitung und Bewertung an den Immissionsorten	8
6	Beurteilung der Ergebnisse	9
6.1	Beurteilung der aktuellen Situation.....	9
6.2	Beurteilung der Erschütterungen nach Umbau mittels vereinfachtem Prognoseverfahren.....	9
7	Fazit, Empfehlungen	10

Anhänge

Anhang	Inhalt	Seite
Anhang A	Lageplan mit Messpositionen	A1
	Tab. A1: Messtechnik, Messpositionen, Messdurchführung u. Signalverarbeitg.	A2
	Fotodokumentation	A3 ÷ A7
	Tab. A2: Anhaltswerte der DIN 4150-2	A8
	Ausgewählte Messergebnisse	A9 ÷ A14
	Tab. A3 + Tab. A4: Maximalwerte der bewerteten Schwingstärke KB_{Fmax}	A15 ÷ 16
	Tab. A5 Maximale KB_{Fmax} [-] und KB_{FTm} [-] Werte	A17
	Tab. A6: KB_{FTr} [-] für den Tag- und Nachtzeitraum	A17
	Tab. A7 + Tab. A8: Maximalwerte der bewerteten Schwingstärke KB_{Fmax} mit Übertragung	A18 ÷ A19
	Tab. A9: Prognostizierte Maximale KB_{Fmax} [-] und KB_{FTm} [-] Werte	A20
	Tab. A10: Prognostizierte KB_{FTr} [-] für den Tag- und Nachtzeitraum	A20

1 Aufgabenstellung

Die Kasseler Verkehrs-Gesellschaft AG (KVG) plant zur Verbesserung der Verkehrsverhältnisse am Bahnhof Wilhelmshöhe umfangreiche Umbauarbeiten vorzunehmen. Aufgrund gesetzlicher Anforderungen im ÖPNV soll die gesamte Haltestellenanlage vor dem Hintergrund der Barrierefreiheit erneuert werden; zudem soll eine Entflechtung der Verkehre und eine Verbesserung für Radfahrer erreicht werden. Die geplanten Veränderungen betreffen den Verkehr von Fußgängern, Radfahrern, Kfz und Straßenbahnen.

Die Verträglichkeit des Vorhabens, mit den umliegenden schutzbedürftigen Nutzungen, soll hinsichtlich der immissionsschutzrechtlichen Anforderungen im Sinne einer Machbarkeitsstudie geprüft werden. Falls Minderungsmaßnahmen für die Immissionen notwendig werden, kann deren Planung und Auslegung bei Bedarf in einem zweiten Schritt erfolgen.

Daher wurde Wölfel Engineering mit der Durchführung einer Erschütterungsmessung vor Ort und einer erschütterungstechnischen Beurteilung auf Basis der DIN 4150, Teil 2 und 3 [01], und der TA-Lärm [04] bzw. der 24. BImSchV [05] für den sekundären Luftschall beauftragt.

Im vorliegenden Bericht sind die Durchführung und die wesentlichen Ergebnisse der Messungen vom 20.02.2021 sowie deren Beurteilung beschrieben.

Im Einzelnen untergliedert sich die durchgeführte Untersuchung wie folgt:

- Installation von bis zu vier triaxialen Schwinggeschwindigkeitssensoren an 6 ausgewählten Messpunkten in/vor 4 nahestehenden Gebäuden, gemäß DIN 45669
- Aufzeichnung einer repräsentativen Anzahl von Straßenbahnvorbeifahrten
- Ermittlung des vorhandenen Erschütterungsniveaus an den Messpunkten
- Prognose der in den Gebäuden zu erwartenden Erschütterungen
- Beurteilung der zu erwartenden Erschütterungen nach Teil 2 und 3 [01], und der TA-Lärm bzw. der 24. BImSchV [04] für den sekundären Luftschall.

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	2010-09
	[02b]	Teil 2: Messverfahren	2005-06
[03]	DIN 45672	Schwingungsmessung in der Umgebung von Schienenverkehrswegen	
		Teil 1: Schwingungsmesser, Anforderungen, Prüfung	2009-12
		Teil 2: Auswerteverfahren	1995-07
[04]	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit	6. Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundesimmissionsschutzgesetz – Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm TA-Lärm	1998-08
[05]	24. BImSchV	24. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verkehrswege-Schallschutzmaßnahmenverordnung – 24. BImSchV)	1997

[06]	Said, Grütz, Garburg	Ermittlung des sekundären Luftschalls aus dem Schienenverkehr; Zeitschrift für Lärmbekämpfung 53 (2006) Nr. 1	2006-01
[07]	DB Netze	Richtlinie 820 „Grundlagen des Oberbaus“; Ril 820.2050 „Erschütterungen und sekundärer Luftschall; Version vom	2017-09-06
[08]	Angaben per Email	Unterlagen zur Aufgabenstellung, Zugzahlen	2020-12-09 2021-03-03
[09]	LK Argus Kassel GmbH	Schalltechnische Untersuchung zum Umbau des Vorplatzes Bahnhof Wilhelmshöhe	2020-12-04
[10]	Ingenieurbüro Wenning	Planfeststellungsverfahren – Verbesserung der Verkehrsverhältnisse am Bahnhof Wilhelmshöhe, Kassel	2020-06

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
$KB_F(t)$ [-]	bewertete Schwingstärke gemäß DIN 4150-2 [01b], per Definition dimensionslos
$KB_{F\max}$ [-]	Taktmaximalwert der bewerteten Schwingstärke nach [01b]
KB_{FTr} [-]	Beurteilungsschwingstärke, nach [01b] unter Berücksichtigung d. Einwirkungsdauer
$L_{\text{sek}}, L_{m,\text{Tag}}$ [dB(A)]	Sekundär-Luftschall bzw. Beurteilungspegel für den Tag, alle A-bewertet

3 Situation vor Ort, Bestand und Planung

3.1 Situation vor Ort, Gelände und umgebende Einflüsse

Die Gebäude direkt westlich und östlich des Bahnhofs Wilhelmshöhe haben gewerbliche Nutzung im Erdgeschoss und Hotelnutzung in den Obergeschossen. An der Nordseite haben westlich des Bahnhofs die Gebäude ebenfalls gewerbliche Nutzung im Erdgeschoss und Wohnnutzungen in den Obergeschossen. In Höhe des Bahnhofsvorplatzes befinden sich Dienstleistungsgebäude, wie zum Beispiel ein Event- und Tagungszentrum. Südlich befindet sich das Bahnhofsgebäude mit gewerblichen Nutzungen. Für die Erschütterungsuntersuchungen ist hier nur die Straßenbahn relevant. Erschütterungen infolge Kfz sind i.d.R. gering und stellen hier keinen erheblichen baulichen Eingriff gem. BImSchV dar, siehe Lärmgutachten LK Argus [09]. Die Straßenbahngleise werden nach Süden näher an das Bahnhofsgebäude sowie nach Osten näher an das IC-Hotel verlegt. Zudem wird ein Wendekreis ergänzt, der näher an die nördliche Bebauung heranrückt.

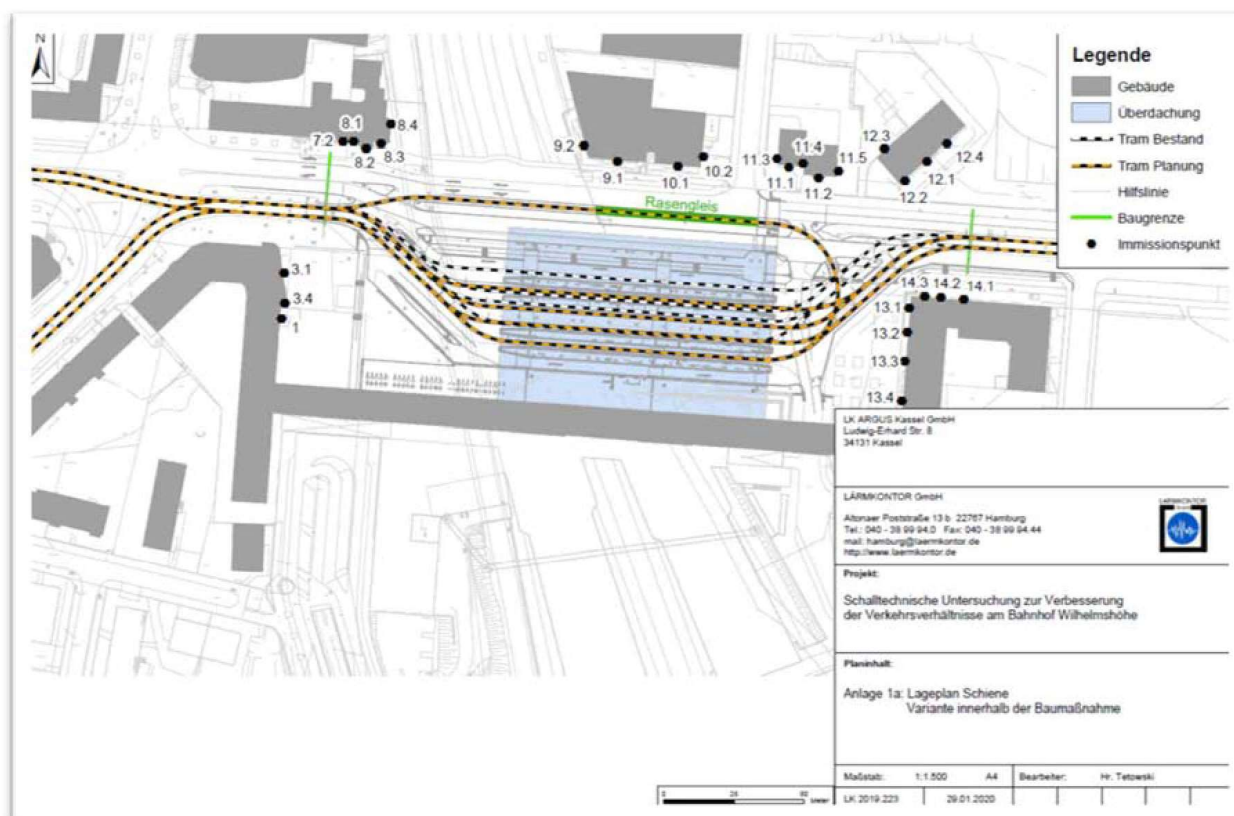


Abb. 1: Bestand und Planung der Straßenbahngleisführung [10]

3.2 Messeinrichtung, Messpositionen

Am 20.02.2021 wurden Erschütterungsmessungen an 6 verschiedenen Messpunkten an und in 4 Gebäuden durchgeführt. In zwei Gebäuden (Tagungszentrum, Intercity Hotel) wurde gleichzeitig am Fundament und auf der obersten Decke gemessen. Alle Messpositionen mit den Entfernungen zum nächsten Schienenstrang sind in Tab. 1 aufgelistet. Weiterhin sind die aktuellen Abstände der Messpunkte zum nächsten Schienenstrang (Luftlinie) sowie die Abstände nach dem Umbau angegeben. Die Messpositionen sind im Lageplan auf Seite A1 eingezeichnet, Bilder dazu finden sich auf den Seiten A3-A7.

Tab. 1: Messpositionen und Abstände zum nächsten Schienenstrang

	Messposition	Untergrund	Entf. z. nächsten Schienenstrang	
			aktuell	nach Umbau
MP 01	Tagungszentrum, UG	Fundament	≈ 44 m	≈ 20 m
MP 02	Tagungszentrum, oberste Decke	Doppelboden	≈ 47 m	≈ 23 m
MP 03	Außenbereich vor HLB	Randstein	≈ 34 m	≈ 10 m
MP 04	Bahnhofsgebäude, oberste Decke	Stahlbeton	≈ 29 m	≈ 22 m
MP 05	Intercity Hotel, 2. UG	Fundament	≈ 35 m	≈ 25 m
MP 06	Intercity Hotel, oberste Decke	Teppichboden	≈ 25 m	≈ 15 m

Der Abstand des Messpunktes MP 03 zum HLB-Gebäudes betrug 10 m. Hierdurch ergibt sich nach Umbau ein Abstand zwischen Gebäude und nächstem Schienenstrang von etwa 20 m.

Für die Zugzahlen nach Umbau wurden durch den Auftraggeber folgende Angaben gemacht:

Tab. 2: Zugzahlen für Bahnhof Wilhelmshöhe, gemäß [08]

Zugart, Gleis	Zugzahlen	
	Tag	Nacht
Straßenbahn, Gleise an allen Bahnsteigen	495	58
Straßenbahn, Wendegleis (zusätzlich nach Umbau)	23	10

Die Einwirkungsdauer beträgt bei einer angesetzten Taktzeit von 30 s tagsüber knapp über 4 h und nachts unter 0,5 h. Da eine Straßenbahnvorbeifahrt in der Regel unter 30 s dauert (ersichtlich in den dargestellten Zeitverläufen), kann von einer Einwirkungsdauer von unter 4 h ausgegangen werden.

4 Anforderungen zum Erschütterungsschutz

Der Erschütterungsschutz für die Planfeststellung des Bahnhofs ist nach folgenden Kriterien nachzuweisen:

- Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden nach DIN 4150-2
- Einwirkung auf Gebäude nach DIN 4150-3
- Entstehung von sekundärem Luftschall

DIN 4150-2 ([1b]) soll eine angemessene Berücksichtigung des Erschütterungsschutzes im Immissionschutz sicherstellen. Sie nennt Anhaltswerte, bei deren Einhaltung in der Regel erhebliche Belästigungen in Wohnräumen oder vergleichbar genutzten Räumen vermieden werden. Im Detail beurteilt sie die Belästigung von Anwohnern aufgrund der auf den Decken auftretenden maximalen bewerteten Schwingstärken sowie der Dauer der Einwirkung. DIN 4150-2 fordert, die gemessenen Schwinggeschwindigkeitssignale in sog. Schwingstärken umzurechnen, die mit den in Tabelle 1 aufgeführten Anhaltswerten zu vergleichen sind. Zunächst wird zwischen Tag- und Nachtzeiten unterschieden. Sofern die KB_F -Werte (vergleiche

Tab. 3) zwischen A_o und A_u liegen, wird mittels einer zeitlichen Bewertung die Beurteilungsschwingstärke KB_{Tr} gebildet, welche dann den Anhaltswerten A_r gegenübergestellt wird. Die Anforderungen müssen für jede der drei Raumrichtungen erfüllt sein. Das bedeutet umgekehrt, dass die größte Komponente des in drei Raumrichtungen gemessenen Erschütterungssignals maßgebend wird. Diese ist dann den entsprechenden Anhaltswerten gegenüberzustellen.

Gemäß Flächennutzungsplan ist das Grundstück als Kerngebiet ausgewiesen, für den Erschütterungsschutz gelten somit folgende Werte:

Tab. 3: Anforderungen an den Erschütterungsschutz für Mischgebiete

Regelwerk	Einwirkungsort	tags			nachts		
DIN 4150-2 ([1b]), Tab. 1, Zeile 3	Einwirkungsorte, in deren Umgebung weder vorwiegend gewerbliche Anlagen noch vorwiegend Wohnungen untergebracht sind (vergl. Kerngebiete BauNVO, § 7 und Mischgebiete BauNVO, § 6)	A _u = 0,2	A _o = 5	A _r = 0,1	A _u = 0,15	A _o = 0,3*	A _r = 0,07
TA-Lärm ([4]) Abschnitt 6.2	gebietsunabhängig	L _A = 35 dB(A)			L _A = 25 dB(A)		
		kurzzeitige Überschreitg. < 10 dB(A)					
* abweichender Anhaltswert für Erschütterungen infolge Schienenverkehr nach Kap. 6.5.3.5 der Norm							

Die DIN 4150-3 ([1c]) beurteilt die Einwirkung von Erschütterungen auf Gebäude. Genauere Untersuchungen dahingehend erübrigen sich praktisch ausnahmslos, wenn die sehr viel strengeren Kriterien der bereits angesprochenen DIN 4150-2 (annähernd) eingehalten werden.

Ein weiterer Aspekt im Immissionsschutzes ist der sekundäre Luftschall (von den Raumbegrenzungsflächen als Luftschall abgestrahlter Körperschall), der insbes. in Zusammenhang mit Erschütterungen – vorwiegend aus Schienenverkehr – auftreten kann und deshalb zu untersuchen ist. Die Kriterien zu sekundärem Luftschall der TA-Lärm [04] sind ebenfalls in Tab. 3 dargestellt. Die Werte der 24. BImSchV [05] sind höher und werden daher nicht angegeben.

5 Ergebnisse der Messung

5.1 Ergebnisse der Rohdaten

Die Ergebnisse der Messungen in unbewerteter Form, als direkt gemessene Schwinggeschwindigkeiten an den 6 Messpunkten, sind exemplarisch auf den Anhangseiten A9 bis A14 im Zeitverlauf und im Spektrum dargestellt.

Die Ergebnisse lauten:

- Während der Messzeit war das Erschütterungsniveau in und vor den Gebäuden sehr niedrig, unbekannte Verursacher von Erschütterungen von wesentlichem Einfluss konnten nicht entdeckt werden.
- Hauptverursacher von Erschütterungen ist erwartungsgemäß der Schienenverkehr.
- Erschütterungen aus Straßenverkehr auf der Depotstraße konnten zwar gemessen werden, ihr Niveau ist jedoch sehr gering. Der Einfluss des Straßenverkehrs wird deshalb nicht weiterverfolgt.
- Die größten Erschütterungsamplituden wurden an MP 03 vor dem HLB-Gebäude gemessen.
- Von den nennenswerten Erschütterungen überwiegt die Vertikalkomponente.

5.2 Weiterführende Auswertung nach DIN 4150-2

Für die Planfeststellung ist die Beurteilung der bewerteten Schwingstärke nach DIN 4150-2 und die Übertragung auf Gebäudedecken erforderlich. In der Auswertung wurden folgende Schritte vollzogen:

- Bildung der bewerteten Schwingstärke, Ermittlung der KB_{Fmax} -Werte und – sofern erforderlich – der KB_{FTi} -Werte unter Berücksichtigung der Einwirkungsdauer.
- Prognose dieser Werte auf die Gebäudedecken für die Situation nach Umbau; hierzu werden Faktoren zur Übertragung der ermittelten Werte auf die neue Situation berechnet.
- Vergleich der KB_{Fmax} - bzw. der KB_{FTi} -Werte mit den A_o -, A_u - und A_r -Werten aus Tab. 3 bzw. aus Tab. A2 und Beurteilung von deren Einhaltung

Die KB_{Fmax} -Werte von allen Messungen sind auf den Seiten A15 und A16 aufgelistet. Die meisten Werte liegen im Bereich $KB_{FTi} \leq 0,1$ und werden gemäß Norm zu Null gesetzt. In Tab. A5 und Tab. A6 sind die maximal ermittelten KB_{Fmax} - und KB_{FTi} -Werte je Richtung zusammengestellt. Mit Ausnahme von MP03 sind alle KB_{FTi} -Werte Null. Das aktuelle Erschütterungsniveau ist insgesamt relativ niedrig.

5.3 Berücksichtigung der Ausbreitung und Bewertung an den Immissionsorten

Die DIN 4150-1 [1a] bietet u.a. ein Verfahren zur Prognose der Erschütterungsausbreitung an. Für das mehr als eine Wellenlänge entfernte Fernfeld gilt:

$$v = v_1 (R / R_1)^{-n} \cdot \exp[-\alpha (R-R_1)] \quad (1)$$

mit v und v_1 Schwinggeschwindigkeit und Schwinggeschw. im Abstand R_1
 R und R_1 Abstand von der Quelle und Bezugsabstand
 n Exponent, abhängig von Wellenart, Quellengeometrie und Signalform

Die Gesetzmäßigkeit für die Ausbreitung verknüpft 2 verschiedene Abklingformen multiplikativ, die sog. geometrische Dämpfung mit dem Verhältnis der Radien und dem Exponenten „-n“ sowie die Materialdämpfung mit abklingender Exponentialfunktion. Für die geometrische Dämpfung kann mit einer zu erwartenden Dominanz an Raumwellen (Annahme: auf sicherer Seite), einer linienförmigen Erregerquelle und einer stationären Erregung der Exponent $n = 0,5$ gesetzt werden. Zur Ermittlung der Materialdämpfung werden konservative Annahmen für die Bodenparameter angenommen. Der Abklingkoeffizient errechnet sich in etwa mit $\alpha = 2\pi D/\lambda$. D stellt dabei den Dämpfungsgrad und $\lambda = c/f$ die Scherwellenlänge dar. Da für die Prognose eine Interpolation der Schwinggeschwindigkeit erfolgt, wird auf der sicheren Seite mit einer hohen Dämpfung gerechnet. Der Dämpfungsgrad wurde zu $D = 0,04$ und die Scherwellengeschwindigkeit mit $c = 150$ m/s angenommen. Je nach Frequenzgehalt wurde basierend auf dem Spektrum die Frequenz mit 40 und 60 Hz angesetzt.

Dieses Verfahren wurde zur Abschätzung der zu erwartenden Erschütterungen in den Gebäuden angewendet. Mit dem aktuellen Abstand der Messpunkte R_1 und dem Abstand der Gebäude nach Umbau R , werden die Übertragungsfaktoren, gemäß Tab. 5, ermittelt, um die Erschütterungen nach Umbau abzuschätzen.

Tab. 5: Angesetzte Übertragungsfaktoren zur Prognose der Erschütterungen in Gebäuden

Tagungszentrum [-]	HLB [-]	Bahnhof [-]	Intercity Hotel [-]
9,5	2,8	3,0	2,5

Da sich MP03 vor dem HLB-Gebäude befand, muss zusätzlich die Überhöhung auf die Geschossdecke mitberücksichtigt werden. Der dazu angesetzte Faktor unter der Berücksichtigung der Fundamentankopplung für die vertikale Richtung beträgt 2,5 und für die horizontale Richtung 1,0. Für andere Gebäude

wurde direkt auf den Geschossdecken gemessen, daher entfällt die Überhöhung. Auf den Seiten A18 und A19 sind die KB_{Fmax} -Werte aller Messungen unter Berücksichtigung der Übertragung aufgelistet und in Tab. A9 und Tab. A10 sind die maximal ermittelten KB_{Fmax} - und KB_{FTm} -Werte je Richtung zusammengestellt.

6 Beurteilung der Ergebnisse

6.1 Beurteilung der aktuellen Situation

Tab. 6 enthält die Beurteilung der Erschütterungseinwirkungen auf Menschen in Gebäuden. Maßgebend für die Beurteilung sind die für Gebäudedecken gemessenen/ermittelten Werte. Danach werden die Anforderungen der DIN 4150-2 eingehalten. Zur Berechnung wurden die Zugzahlen für die Bahnsteige aus Tab. 2 angesetzt.

Tab. 6 Beurteilung der aktuellen Erschütterungen (Mischgebiet)

	Tagungszentrum (MP02)	HLB (MP 03 x 2,5).	InterCity Hotel (MP04)	Bahnhofsbäude (MP06)
$KB_{FTm} [-]$	0,00	0,17	0,00	0,00
KB_{Fmax}	0,09	0,3	0,01	0,04
$KB_{FTr} \text{ tags}$	0,00	0,09	0,00	0,00
$KB_{FTr} \text{ nachts}$	0,00	0,04	0,00	0,00
$KB_{Fmax} \leq A_U \text{ (tags)} = 0,2$	✓	✗	✓	✓
$KB_{Fmax} \leq A_O \text{ (tags)} = 5$	✓	✓	✓	✓
$KB_{FTr} \text{ tags} \leq A_r \text{ (tags)} = 0,1$	✓	✓	✓	✓
Anforderung tags eingehalten	✓	✓	✓	✓
$KB_{Fmax} \leq A_U \text{ (nachts)} = 0,15$	✓	✗	✓	✓
$KB_{Fmax} \leq A_O \text{ (nachts)} = 0,3$	✓	✓	✓	✓
$KB_{FTr} \text{ nachts} \leq A_r \text{ (nachts)} = 0,07$	✓	✓	✓	✓
Anforderung nachts eingehalten	✓	✓	✓	✓

6.2 Beurteilung der Erschütterungen nach Umbau mittels vereinfachtem Prognoseverfahren

Unter Berücksichtigung der in Tab. 5 angegebenen Übertragungsfaktoren, wird die Beurteilung der Situation nach Umbau in Tab. 7 dargestellt. Für das HLB Gebäude und das Tagungszentrum werden die Zugzahlen für das Wendegleis angesetzt. Die Zugzahlen für die Bahnsteige werden vernachlässigt, da die dort befindlichen Gleise von den Gebäuden wegrücken und bereits aktuell ein geringes Erschütterungsniveau vorliegt.

Mit Ausnahme des HLB-Gebäudes liegen alle prognostizierten Erschütterungen unter den Anhaltswerten der Norm. Für das HLB-Gebäude ergeben sich für aufgezeichnete Einzelwerte Überschreitungen der Anhaltswerte A_O nachts. Nach Abschnitt 6.5.3.5 hat der obere Anhaltswert A_O nicht die Bedeutung, dass bei dessen seltener Überschreitung die Anforderungen der Norm als nicht eingehalten gelten. Liegen jedoch nachts einzelne KB_{FTi} -Werte über $A_O = 0,6$, so ist nach deren Ursache zu forschen (z.B. Flachstellen an

Rädern) und diese möglichst rasch zu beheben. Zur Zeit der Messung wäre der Wert $A_0 = 0,6$, unter den konservativen Annahmen der Prognose, 2 Mal überschritten worden. Das kann als seltenes Ereignis gewertet werden. Es ist unwahrscheinlich, dass der Wert nachts in dem Zustand nach Umbau und mit neuen, glatt geschliffenen Gleisen überschritten wird. Zudem befand sich der Messpunkt am HLB Gebäude am Rand eines Gehwegs. Es ist nicht auszuschließen, dass die aufgezeichneten Einzelereignisse auf Fußgänger zurückzuführen sind.

Der Anhaltswert von KB_{FTr} ist nachts und tags mit Abstand eingehalten. Insofern zeigt die Erschütterungsprognose insgesamt, dass die Anhaltswerte der Norm eingehalten werden können, selbst wenn gewisse Mess- und Prognoseunsicherheiten in die ungünstige Richtung eingerechnet werden.

Tab. 7: Beurteilung der prognostizierten Erschütterungen (eingeschossige Bauweise, Mischgebiet)

	Tagungszentrum (MP02)	HLB (MP 03).	InterCity Hotel (MP04)	Bahnhofsgebäude (MP06)
$KB_{FTm} [-]$	0,48	0,49	0,16	0,03
KB_{Fmax}	0,86	0,85	0,27	0,11
KB_{FTr} tags	0,05	0,05	0,08	0,02
KB_{FTr} nachts	0,05	0,05	0,04	0,01
$KB_{Fmax} \leq A_U$ (tags) = 0,2	✗	✗	✗	✓
$KB_{Fmax} \leq A_0$ (tags) = 5	✓	✓	✓	✓
KB_{FTr} tags $\leq A_r$ (tags) = 0,1	✓	✓	✓	✓
Anforderung tags eingehalten	✓	✓	✓	✓
$KB_{Fmax} \leq A_U$ (nachts) = 0,15	✗	✗	✓	✓
$KB_{Fmax} \leq A_0$ (nachts) = 0,3*	✓	✗	✓	✓
KB_{FTr} nachts $\leq A_r$ (nachts) = 0,07	✓	✓	✓	✓
Anforderung nachts eingehalten	✓	(✓)	✓	✓

Da das Erschütterungsniveau trotz konservativen Annahmen niedrig bleibt, sind keine Probleme infolge des sekundären Luftschalls zu erwarten und werden an dieser Stelle nicht weiter untersucht. Auch ein spektrales Prognoseverfahren nach VDI 3837 erübrigt sich.

7 Fazit, Empfehlungen

Am 20.02.2021 wurden Erschütterungsmessungen auf dem Gelände Bahnhof Wilhelmshöhe und in der Umgebung durchgeführt. Es wurde an 6 verschiedenen Messpunkten und in 4 Gebäuden gemessen.

Anhand der registrierten Messdaten wurden die zu erwartenden Erschütterungsimmissionen infolge Schienenverkehr nach Umbau prognostiziert und gemäß DIN 4150, Teil 2 „Erschütterungen im Bauwesen – Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden“ beurteilt. Dafür wurde ein vereinfachtes Verfahren mit skalaren Übertragungsfaktoren verwendet.

Die Ergebnisse des vereinfachten Verfahrens zeigen, dass die Anforderungen der DIN 4150-2 für das vorliegende Kerngebiet an allen Messpunkten eingehalten werden können, selbst wenn konservative Annahmen für die Erschütterungsausbreitung im Boden angesetzt werden. Daher ergeben sich aus Erschütterungssicht keine besonderen Vorgaben für den zukünftigen Gleisaufbau.

Die Vorgaben der DIN 4150-3 bzgl. der Einwirkungen für die Bausubstanz werden sicher eingehalten.

Aufgrund des geringen Erschütterungsniveaus sind auch keine Überschreitungen der Vorgaben für den sekundären Luftschall der TA Lärm bzw. der 24. BImSchV zu erwarten.

Es kann selbst bei Einhaltung der maßgebenden Anhalts- und Richtwerte 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.

Höchberg, 27.04.2021 – Fd / Gue / RC / Ri

Lageplan mit Messpositionen

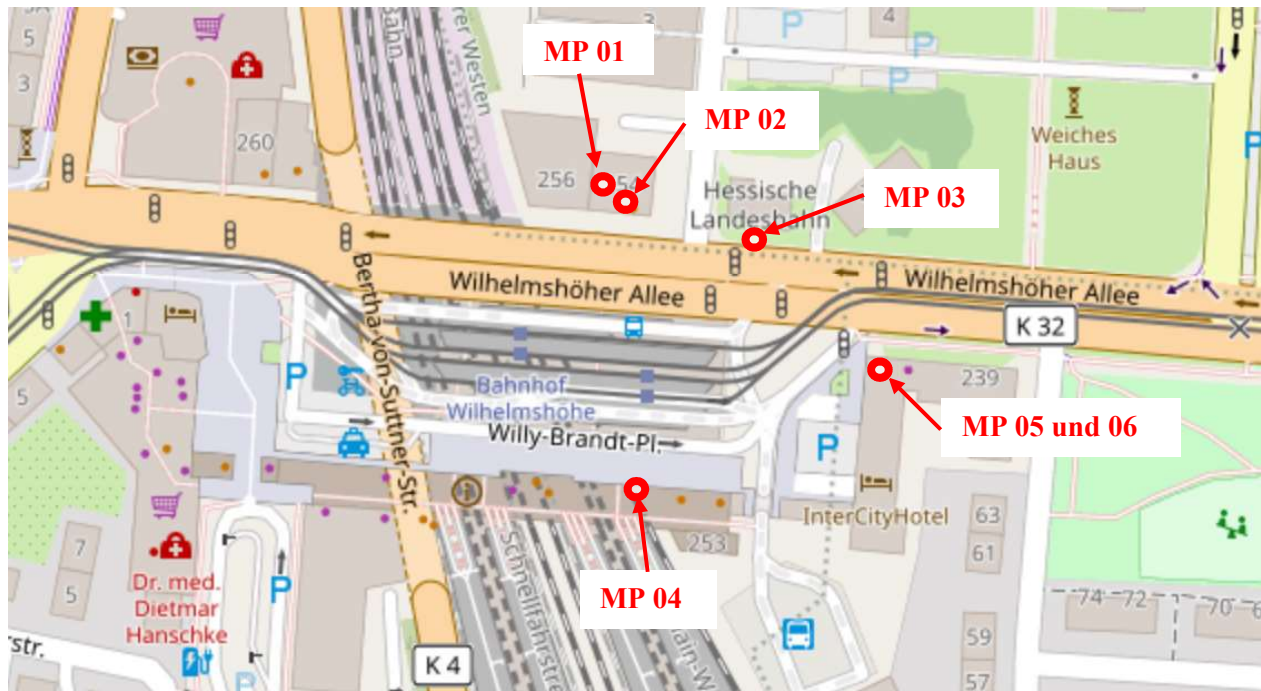


Abb. A1: Lageplan mit Übersicht der Messpositionen

Tab. A1: Messtechnik, Messpositionen, Messdurchführung und Signalverarbeitung

Messzeit:	13:00 Uhr bis 19:00 Uhr am 20.02.2021
Messort:	Bahnhof Kassel-Wilhelmshöhe Willy-Brandt-Platz 34131 Kassel
Verursacher:	Erschütterungen infolge Schienen- und Straßenverkehr
Messpunkte (MP):	<p>MP 1 z, x, y: Tiefgarage Wilhelmshöher Allee 254 MP 2 z, x, y: Obergeschoss Wilhelmshöher Allee 254 MP 3 z, x, y: Vor dem Gebäude Wilhelmshöher Allee 252 MP 4 z, x, y: Obergeschoss Bahnhof Wilhelmshöhe Willy-Brandt-Platz 1 MP 5 z, x, y: Kellergeschoss Wilhelmshöher Allee 241 MP 6 z, x, y: Obergeschoss Wilhelmshöher Allee 241</p> <p>x-Richtung: horizontal, Richtung Bahnhof y-Richtung: horizontal, parallel zur Achse Messposition-Bahnhof z-Richtung: vertikal</p> <p>An den Messpunkten wurde jeweils triaxial gemessen. Ankopplung der Messaufnehmer gemäß DIN 45669</p>
Messaufnehmer:	<p>Schwingungsmesser nach DIN 45669 (dreiaxsig: z, x, y) Aufstellung Sensoren auf Fußboden gemäß DIN 45669-2</p> <p>MP 2 + 6: Schwingungsmesser SM 6 gemäß DIN 45669-1; Wölfel Monitoring Systems GmbH & Co. KG Speisung und AD-Wandlung: System Red Sens mit Funkmodulen</p> <p>MP 1, 3, 4, 5: Geschwindigkeitsaufnehmer MS 3003 von Syscom Instruments</p> <p>Die Messkette wurde vor und nach der Messung überprüft.</p>
Messdatenerfassung und -verarbeitung:	Notebook Dell Latitude 5511 mit USB-Antenne Mess- und Auswertesoftware MEDA_AD Version 2020-1 WÖLFEL Monitoring Systems GmbH + Co. KG
Messwerterfassung:	Abtastung: obere Grenzfrequenz: 400 Hz entspricht einer Abtastrate von 0,9765 ms
Umfeldbedingungen:	Sonnig, Temperatur $\approx 10\text{ }^{\circ}\text{C}$

Fotodokumentation



Abb. A2: Wilhelmshöher Allee 254 Außenansicht (Tagungszentrum)



Abb. A3: MP 01 Tiefgarage Wilhelmshöher Allee 254 (Tagungszentrum)

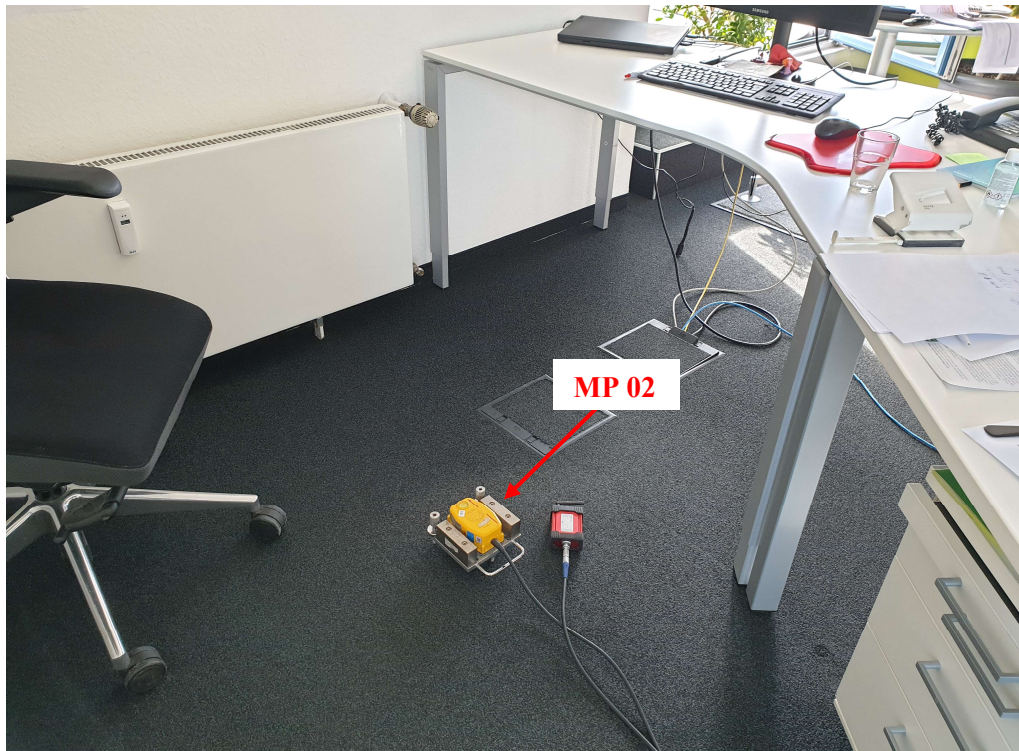


Abb. A4: MP 02 OG Wilhelmshöher Allee 254 (Tagungszentrum)



Abb. A5: MP 03 vor dem Gebäude Wilhelmshöher Allee 252 (HLB)



Abb. A6: Außenansicht Bahnhofsgebäude



Abb. A7: MP 04 im Obergeschoss des Bahnhofsgebäudes



Abb. A8: Außenansicht Wilhelmshöher Allee 241 (IntercityHotel)



Abb. A9: MP 05 Kellergeschoss Wilhelmshöher Allee 241 (IntercityHotel)

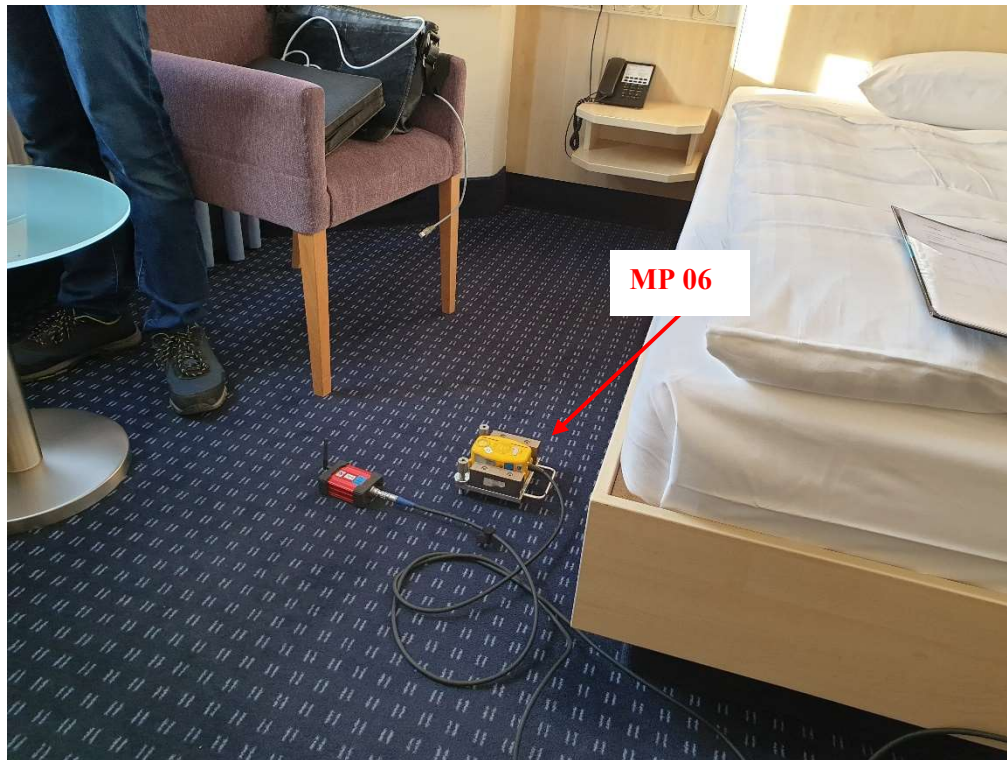


Abb. A10: MP 06 Obergeschoss Wilhelmshöher Allee 241 (IntercityHotel)

Tab. A2: Messtechnik, Messpositionen, Messdurchführung und Signalverarbeitung: Anhaltswerte der DIN 4150-2: „Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden“ Erschütterungsimmissionen in Wohnungen und vergleichbar genutzten Räumen

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 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 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 Rechnungen trägt.							

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

- Wenn KB_{Fmax} über dem oberen Anhaltswert A_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 liegt, ist die Anforderung der Norm eingehalten und damit erhebliche Belästigungen von Personen in der Regel ausgeschlossen.
- Wenn KB_{Fmax} zwischen A_u und A_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 die Beurteilungsschwingstärke KB_{FTr} kleiner als der Anhaltswert A_r , ist die Anforderung der Norm eingehalten.

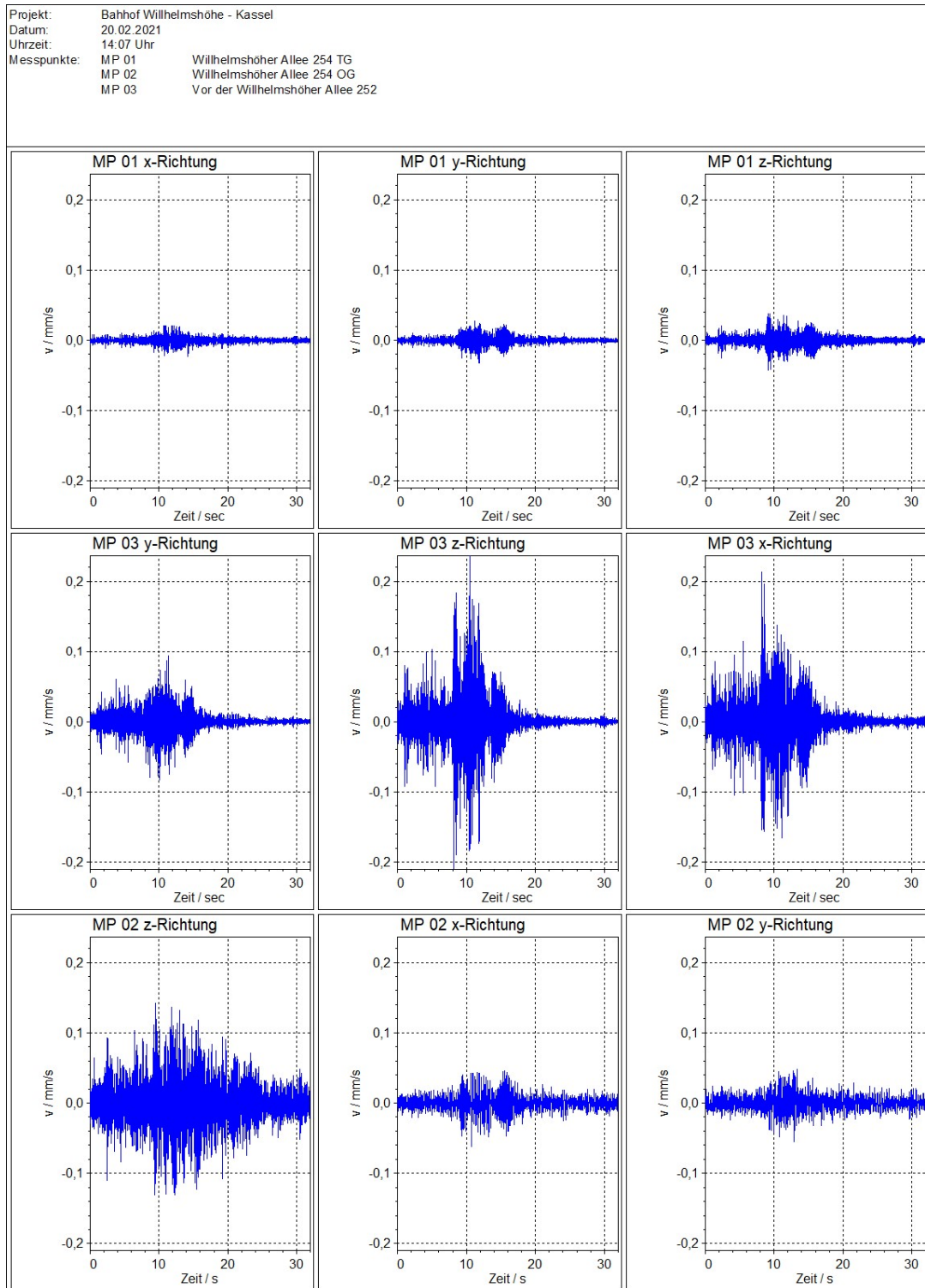


Abb. A11: Zeitverlauf der Messung um 14:07 Uhr während der Straßenbahn-Einfahrt zeitgleich Fahrtrichtung West und Ost

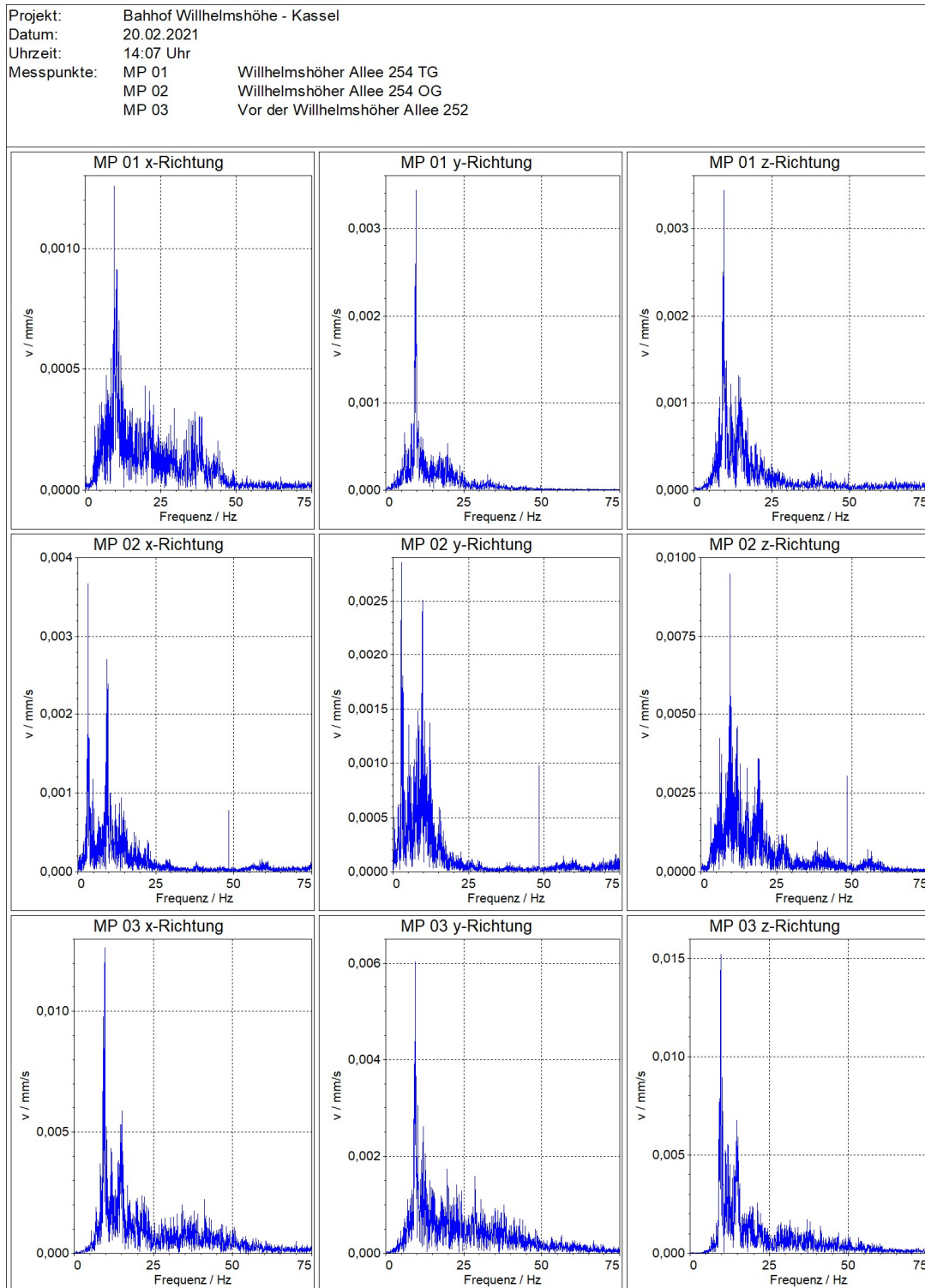


Abb. A12: Spektren der Messung um 14:07 Uhr während der Straßenbahn-Einfahrt zeitgleich Fahrtrichtung West und Ost

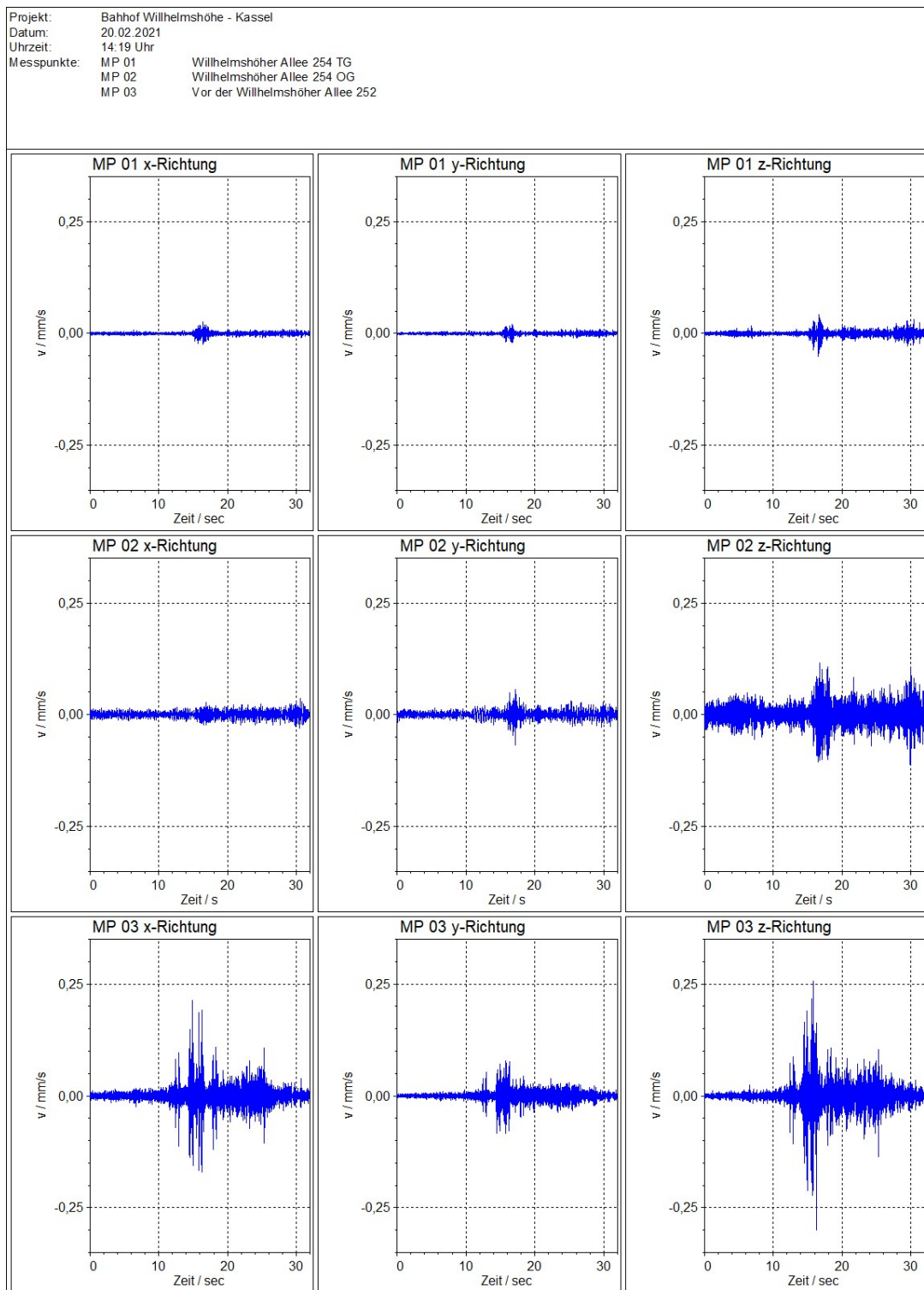


Abb. A13: Zeitverlauf der Messung um 14:19 Uhr während der Straßenbahn-Einfahrt und -Ausfahrt Fahrtrichtung Ost

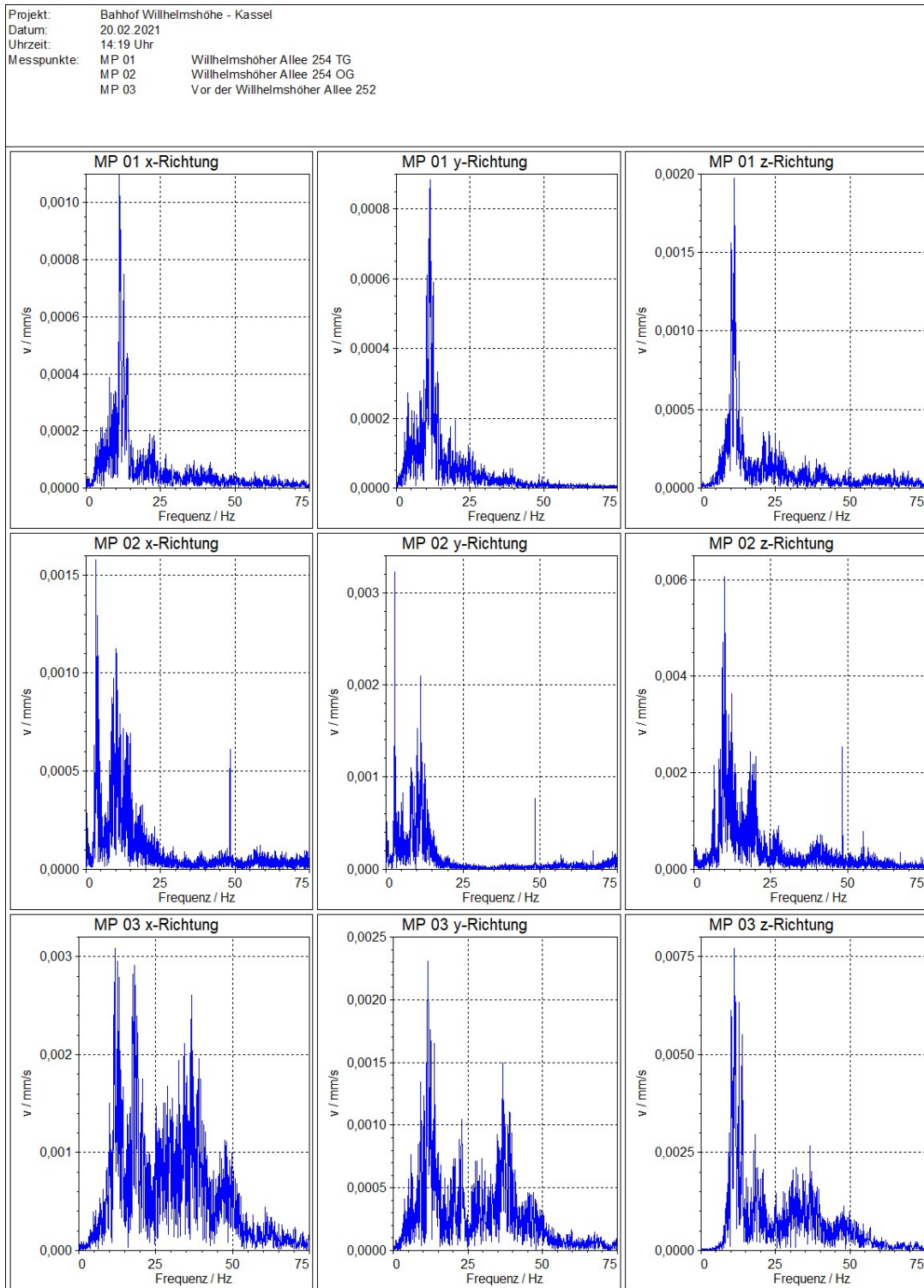


Abb. A14: Spektren der Messung um 14:19 Uhr während der Straßenbahn-Einfahrt und -Ausfahrt Fahrtrichtung Ost

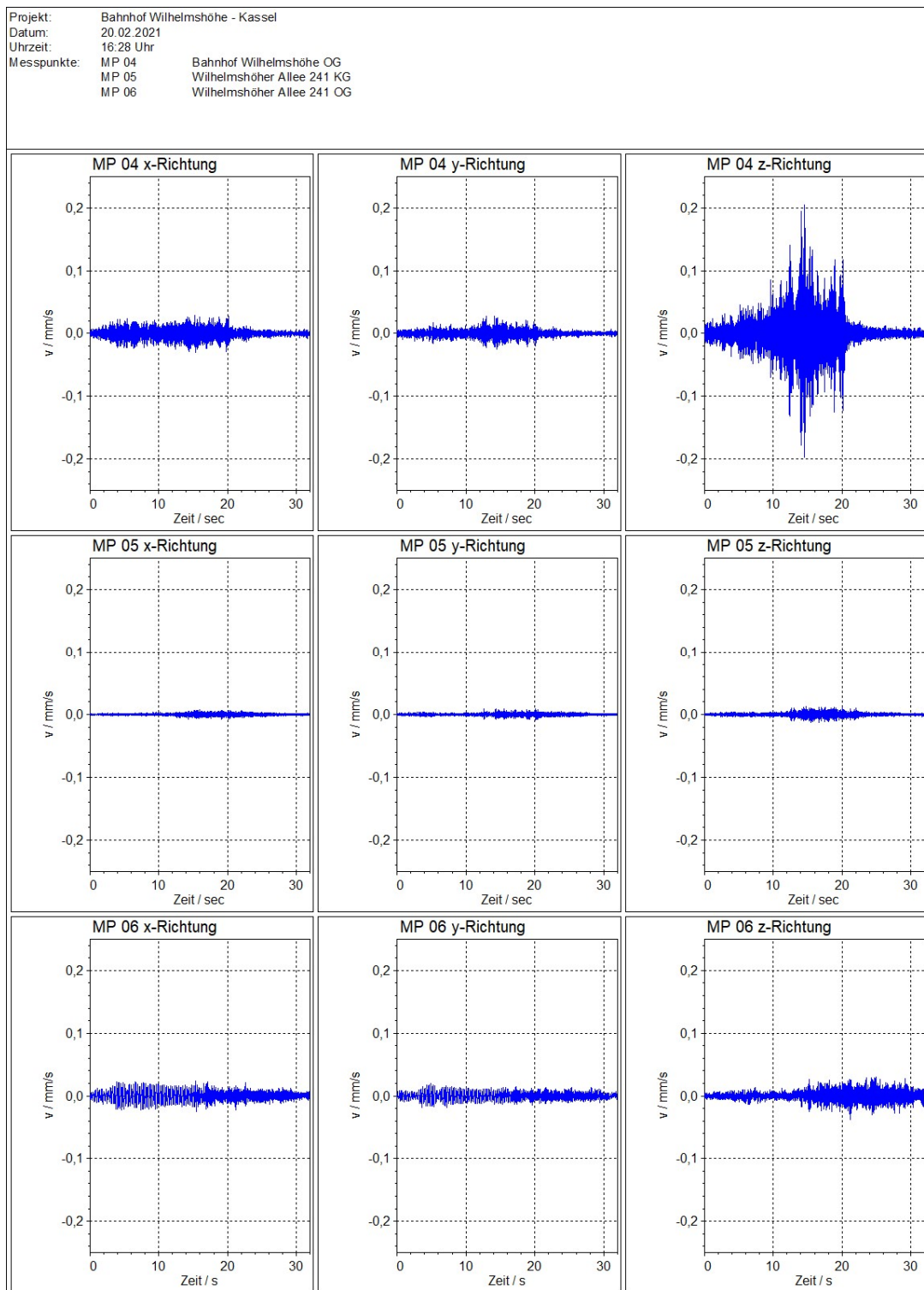


Abb. A15: Zeitverlauf der Messung um 16:28 Uhr während einer Straßenbahn-Ausfahrt Fahrtrichtung Ost

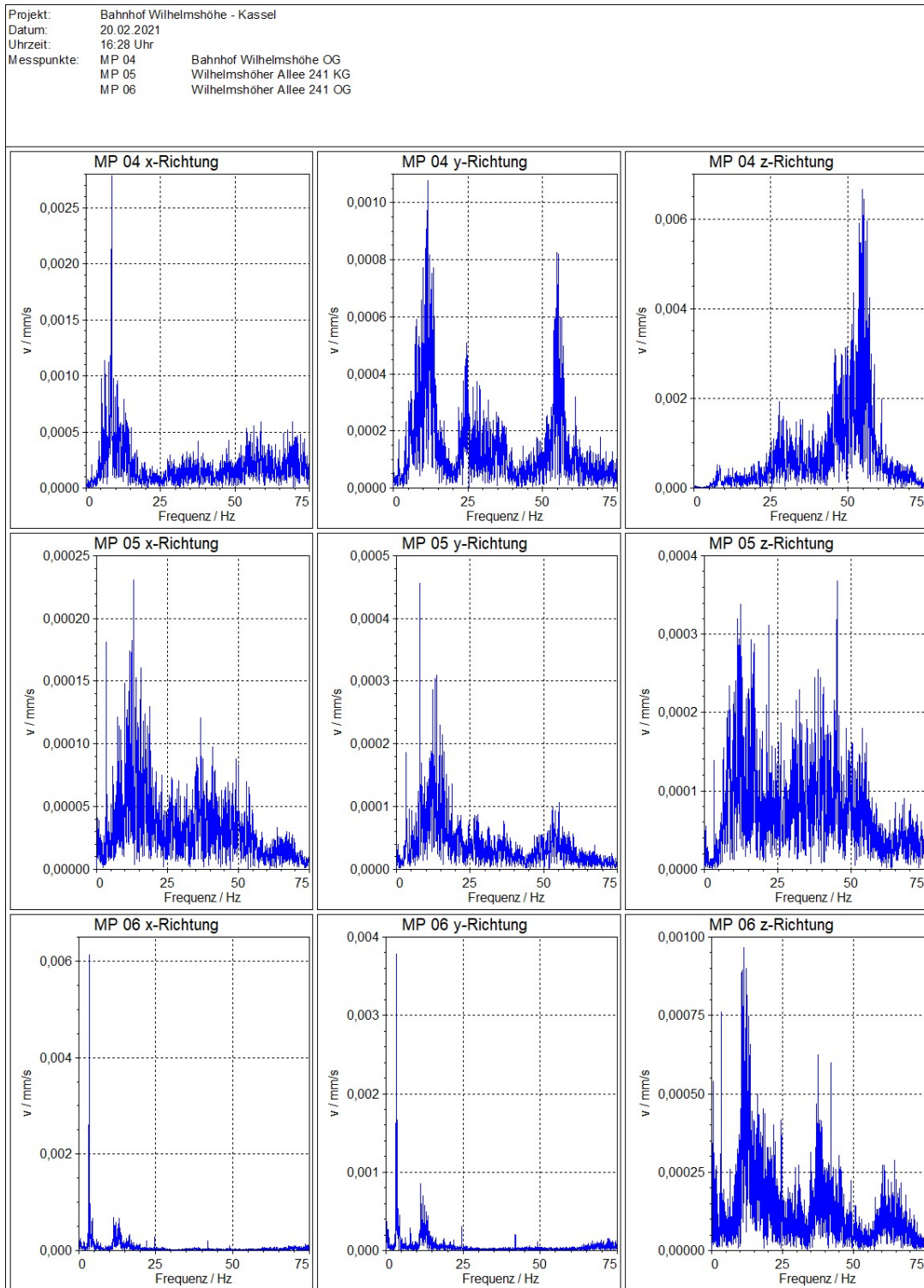


Abb. 16: Spektren der Messung um 16:28 Uhr während einer Straßenbahn-Ausfahrt Fahrtrichtung Ost

Tab. A3: Maximalwerte der bewerteten Schwingstärke KB_{Fmax} der Messkette 1

Taktmaximalwerte			KB_{Fmax} [-]			KB_{Fmax} [-] nach DIN 4150-2		
Uhrzeit	Verursacher	Richtung	MP 01	MP 02	MP 03	MP 01	MP 02	MP 03
13:52 Uhr	Straßenbahn Einfahrt West	x	0,01	0,02	0,11	0	0	0,11
		y	0,01	0,02	0,06	0	0	0
		z	0,01	0,06	0,19	0	0	0,19
13:55 Uhr	Straßenbahn Ausfahrt Ost	x	0,00	0,01	0,11	0	0	0,11
		y	0,00	0,01	0,05	0	0	0
		z	0,01	0,04	0,14	0	0	0,14
14:00 Uhr	Straßenbahn Einfahrt Ost	x	0,00	0,01	0,07	0	0	0
		y	0,00	0,01	0,03	0	0	0
		z	0,00	0,02	0,12	0	0	0,12
14:03 Uhr	Straßenbahn und Güterzug	x	0,01	0,01	0,15	0	0	0,15
		y	0,00	0,01	0,06	0	0	0
		z	0,01	0,03	0,20	0	0	0,20
14:07 Uhr	Straßenbahn Einfahrt West und Ost	x	0,01	0,02	0,19	0	0	0,19
		y	0,02	0,03	0,07	0	0	0
		z	0,02	0,07	0,27	0	0	0,27
14:18 Uhr	Straßenbahn Einfahrt Ost	x	0,01	0,01	0,08	0	0	0
		y	0,00	0,01	0,05	0	0	0
		z	0,02	0,05	0,17	0	0	0,17
14:19 Uhr	Straßenbahn Ein- und Ausfahrt Ost	x	0,01	0,01	0,16	0	0	0,16
		y	0,01	0,03	0,07	0	0	0
		z	0,02	0,06	0,30	0	0	0,30
14:30 Uhr	Straßenbahn Einfahrt Ost	x	0,01	0,02	0,10	0	0	0
		y	0,01	0,03	0,06	0	0	0
		z	0,01	0,08	0,09	0	0	0
14:33 Uhr	Straßenbahn Ein- und Ausfahrt Ost	x	0,00	0,01	0,09	0	0	0
		y	0,00	0,01	0,06	0	0	0
		z	0,01	0,05	0,10	0	0	0,10
14:37 Uhr	Straßenbahn Einfahrt West	x	0,01	0,02	0,16	0	0	0,16
		y	0,01	0,02	0,07	0	0	0
		z	0,02	0,07	0,19	0	0	0,19
14:39 Uhr	Straßenbahn Einfahrt Ost	x	0,01	0,02	0,09	0	0	0
		y	0,01	0,01	0,03	0	0	0
		z	0,02	0,09	0,14	0	0	0,14
14:51 Uhr	Straßenbahn Einfahrt West	x	0,01	0,01	0,10	0	0	0,10
		y	0,01	0,01	0,08	0	0	0
		z	0,02	0,02	0,18	0	0	0,18
14:54 Uhr	Straßenbahn Einfahrt Ost	x	0,01	0,03	0,10	0	0	0,10
		y	0,01	0,02	0,04	0	0	0
		z	0,04	0,03	0,10	0	0	0
14:56 Uhr	Straßenbahn Ausfahrt Ost	x	0,00	0,01	0,10	0	0	0,10
		y	0,00	0,01	0,05	0	0	0
		z	0,01	0,01	0,12	0	0	0,12
15:00 Uhr	Straßenbahn Einfahrt West und Ost	x	0,00	0,01	0,09	0	0	0
		y	0,01	0,01	0,05	0	0	0
		z	0,02	0,02	0,13	0	0	0,13
15:02 Uhr	Straßenbahn Einfahrt West	x	0,01	0,01	0,10	0	0	0,10
		y	0,00	0,01	0,06	0	0	0
		z	0,01	0,01	0,15	0	0	0,15

Tab. A4: Maximalwerte der bewerteten Schwingstärke KB_{Fmax} der Messkette 2

Taktmaximalwerte			$KB_{Fmax} [-]$			$KB_{Fmax} [-]$ nach DIN 4150-2		
Uhrzeit	Verursacher	Richtung	MP 04	MP 05	MP 06	MP 04	MP 05	MP 06
16:17 Uhr Straßenbahn Einfahrt Ost und West		x	0,01	0,00	0,00	0	0	0
		y	0,01	0,00	0,00	0	0	0
		z	0,01	0,00	0,01	0	0	0
16:18 Uhr Straßenbahn Ausfahrt Ost		x	0,02	0,00	0,01	0	0	0
		y	0,01	0,00	0,01	0	0	0
		z	0,06	0,01	0,02	0	0	0
16:26 Uhr Straßenbahn Einfahrt Ost		x	0,01	0,00	0,00	0	0	0
		y	0,01	0,00	0,00	0	0	0
		z	0,02	0,00	0,02	0	0	0
16:28 Uhr Straßenbahn Ausfahrt Ost		x	0,01	0,00	0,01	0	0	0
		y	0,01	0,00	0,01	0	0	0
		z	0,09	0,01	0,01	0	0	0
16:29 Uhr Straßenbahn Einfahrt West		x	0,01	0,01	0,01	0	0	0
		y	0,01	0,01	0,01	0	0	0
		z	0,01	0,00	0,02	0	0	0
16:36 Uhr Straßenbahn Einfahrt West		x	0,01	0,00	0,01	0	0	0
		y	0,01	0,00	0,00	0	0	0
		z	0,01	0,00	0,02	0	0	0
16:41 Uhr Straßenbahn Ausfahrt Ost		x	0,01	0,00	0,01	0	0	0
		y	0,01	0,00	0,01	0	0	0
		z	0,03	0,00	0,02	0	0	0
16:42 Uhr Straßenbahn Ausfahrt Ost		x	0,00	0,00	0,00	0	0	0
		y	0,00	0,00	0,00	0	0	0
		z	0,02	0,00	0,01	0	0	0
16:44 Uhr Straßenbahn Einfahrt West		x	0,00	0,00	0,01	0	0	0
		y	0,01	0,00	0,00	0	0	0
		z	0,02	0,00	0,02	0	0	0
16:45 Uhr Straßenbahn Einfahrt West		x	0,00	0,00	0,00	0	0	0
		y	0,01	0,00	0,00	0	0	0
		z	0,01	0,01	0,01	0	0	0
16:50 Uhr Straßenbahn Ausfahrt Ost		x	0,00	0,00	0,00	0	0	0
		x	0,01	0,00	0,01	0	0	0
		y	0,00	0,00	0,00	0	0	0
16:51 Uhr Straßenbahn Ausfahrt Ost		y	0,01	0,00	0,01	0	0	0
		z	0,02	0,00	0,01	0	0	0
		z	0,05	0,01	0,02	0	0	0
16:57 Uhr Straßenbahn Ausfahrt Ost		x	0,01	0,00	0,01	0	0	0
		x	0,01	0,00	0,01	0	0	0
		y	0,01	0,00	0,01	0	0	0
16:58 Uhr Straßenbahn Ausfahrt Ost		y	0,01	0,00	0,01	0	0	0
		z	0,06	0,00	0,04	0	0	0
		z	0,03	0,00	0,01	0	0	0
16:59 Uhr Straßenbahn Einfahrt West		x	0,00	0,00	0,00	0	0	0
		x	0,01	0,00	0,01	0	0	0
		y	0,00	0,00	0,00	0	0	0
17:00 Uhr Straßenbahn Einfahrt West		y	0,01	0,00	0,00	0	0	0
		z	0,00	0,00	0,01	0	0	0
		z	0,01	0,00	0,02	0	0	0
17:02 Uhr Straßenbahn Aus- und Einfahrt Ost		x	0,01	0,00	0,00	0	0	0
		x	0,01	0,00	0,01	0	0	0
		y	0,00	0,00	0,00	0	0	0
17:03 Uhr Straßenbahn Aus- und Einfahrt Ost		y	0,01	0,00	0,00	0	0	0
		z	0,01	0,00	0,01	0	0	0
		z	0,06	0,01	0,02	0	0	0
17:04 Uhr Straßenbahn Ausfahrt Ost		x	0,01	0,00	0,01	0	0	0
		x	0,01	0,00	0,01	0	0	0
		y	0,01	0,00	0,01	0	0	0
17:05 Uhr Straßenbahn Ausfahrt Ost		y	0,01	0,00	0,01	0	0	0
		z	0,05	0,01	0,02	0	0	0
		z	0,07	0,01	0,02	0	0	0
17:08 Uhr Straßenbahn Einfahrt West		x	0,01	0,00	0,00	0	0	0
		x	0,02	0,00	0,01	0	0	0
		y	0,01	0,00	0,00	0	0	0
17:09 Uhr Straßenbahn Einfahrt West		y	0,02	0,00	0,01	0	0	0
		z	0,02	0,00	0,01	0	0	0
		z	0,03	0,00	0,04	0	0	0

Tab. A5: Maximale KB_{Fmax} [-] und KB_{FTm} [-] Werte je Messpunkt und Richtung

	KB_{Fmax} [-]			KB_{FTm} [-]		
Richtung	MP 01	MP 02	HLB	MP 01	MP 02	HLB
x	0,01	0,03	0,19	0	0	0,10
y	0,02	0,03	0,08	0	0	0
z	0,04	0,09	0,30	0	0	0,17

	KB_{Fmax} [-]			KB_{FTm} [-]		
Richtung	MP 04	MP 05	MP 06	MP 04	MP 05	MP 06
x	0,02	0,01	0,01	0	0	0,00
y	0,02	0,01	0,01	0	0	0
z	0,09	0,01	0,04	0	0	0,00

Tab. A6: KB_{FTr} [-] für den Tag- und Nachtzeitraum, Werte je Messpunkt und Richtung

	KB_{FTr} [-] tagsüber:			KB_{FTr} [-] nachts:		
Richtung	MP 01	MP 02	HLB	MP 01	MP 02	HLB
x	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,03
y	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
z	0,00	0,00	0,09	0,00	0,00	0,04

	KB_{FTr} [-] tagsüber:			KB_{FTr} [-] nachts:		
Richtung	MP 04	MP 05	MP 06	MP 04	MP 05	MP 06
x	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
y	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
z	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Die Ergebnisse des HLB-Gebäudes basieren auf den Messdaten des MP 03.

Tab. A7: Maximalwerte der bewerteten Schwingstärke KB_{Fmax} mit Übertragung - MP 02 und MP 03

Taktmaximalwerte			KB _{Fmax} [-]		KB _{Fmax} [-] nach DIN 4150-2	
Uhrzeit	Verursacher	Richtung	MP 02	HLB	MP 02	HLB
13:52 Uhr	Straßenbahn Einfahrt West	x	0,15	0,32	0,15	0,32
		y	0,15	0,18	0,15	0,18
		z	0,55	0,54	0,55	0,54
13:55 Uhr	Straßenbahn Ausfahrt Ost	x	0,09	0,31	0	0,31
		y	0,08	0,13	0	0,13
		z	0,42	0,40	0,42	0,40
14:00 Uhr	Straßenbahn Einfahrt Ost	x	0,08	0,20	0	0,20
		y	0,09	0,08	0	0
		z	0,21	0,34	0,21	0,34
14:03 Uhr	Straßenbahn und Güterzug	x	0,12	0,43	0,12	0,43
		y	0,09	0,17	0	0,17
		z	0,31	0,55	0,31	0,55
14:07 Uhr	Straßenbahn Einfahrt West und Ost	x	0,19	0,53	0,19	0,53
		y	0,24	0,20	0,24	0,20
		z	0,63	0,75	0,63	0,75
14:18 Uhr	Straßenbahn Einfahrt Ost	x	0,10	0,24	0	0,24
		y	0,12	0,14	0,12	0,14
		z	0,44	0,49	0,44	0,49
14:19 Uhr	Straßenbahn Ein- und Ausfahrt Ost	x	0,13	0,45	0,13	0,45
		y	0,29	0,20	0,29	0,20
		z	0,54	0,85	0,54	0,85
14:30 Uhr	Straßenbahn Einfahrt Ost	x	0,18	0,27	0,18	0,27
		y	0,30	0,17	0,30	0,17
		z	0,78	0,27	0,78	0,27
14:33 Uhr	Straßenbahn Ein- und Ausfahrt Ost	x	0,10	0,24	0,10	0,24
		y	0,12	0,17	0,12	0,17
		z	0,50	0,29	0,50	0,29
14:37 Uhr	Straßenbahn Einfahrt West	x	0,21	0,44	0,21	0,44
		y	0,16	0,20	0,16	0,20
		z	0,68	0,54	0,68	0,54
14:39 Uhr	Straßenbahn Einfahrt Ost	x	0,17	0,24	0,17	0,24
		y	0,11	0,10	0,11	0
		z	0,86	0,39	0,86	0,39
14:51 Uhr	Straßenbahn Einfahrt West	x	0,12	0,29	0,12	0,29
		y	0,09	0,22	0	0,22
		z	0,17	0,52	0,17	0,52
14:54 Uhr	Straßenbahn Einfahrt Ost	x	0,27	0,28	0,27	0,28
		y	0,23	0,11	0,23	0,11
		z	0,31	0,28	0,31	0,28
14:56 Uhr	Straßenbahn Ausfahrt Ost	x	0,08	0,29	0	0,29
		y	0,06	0,14	0	0,14
		z	0,08	0,34	0	0,34
15:00 Uhr	Straßenbahn Einfahrt West und Ost	x	0,09	0,25	0	0,25
		y	0,07	0,14	0	0,14
		z	0,19	0,35	0,19	0,35
15:02 Uhr	Straßenbahn Einfahrt West	x	0,10	0,29	0	0,29
		y	0,08	0,17	0	0,17
		z	0,10	0,43	0	0,43

Tab. A8: Maximalwerte der bewerteten Schwingstärke KBFmax mit Übertragung - MP 04 und MP 06

Taktmaximalwerte			KBFmax [-]		KBFmax [-] nach DIN 4150-2	
Uhrzeit	Verursacher	Richtung	MP 04	MP 06	MP 04	MP 06
16:17 Uhr	Straßenbahn Einfahrt Ost und West	x	0,03	0,01	0	0
		y	0,02	0,01	0	0
		z	0,03	0,01	0	0
16:18 Uhr	Straßenbahn Ausfahrt Ost	x	0,06	0,02	0	0
		y	0,03	0,02	0	0
		z	0,17	0,05	0,17	0
16:26 Uhr	Straßenbahn Einfahrt Ost	x	0,02	0,01	0	0
		y	0,02	0,01	0	0
		z	0,06	0,04	0	0
16:28 Uhr	Straßenbahn Ausfahrt Ost	x	0,04	0,02	0	0
		y	0,04	0,02	0	0
		z	0,27	0,03	0,27	0
16:29 Uhr	Straßenbahn Einfahrt West	x	0,02	0,03	0	0
		y	0,03	0,02	0	0
		z	0,04	0,05	0	0
16:36 Uhr	Straßenbahn Einfahrt West	x	0,02	0,02	0	0
		y	0,03	0,01	0	0
		z	0,04	0,04	0	0
16:41 Uhr	Straßenbahn Ausfahrt Ost	x	0,02	0,02	0	0
		y	0,02	0,02	0	0
		z	0,09	0,05	0	0
16:42 Uhr	Straßenbahn Ausfahrt Ost	x	0,01	0,01	0	0
		y	0,01	0,01	0	0
		z	0,06	0,02	0	0
16:44 Uhr	Straßenbahn Einfahrt West	x	0,01	0,01	0	0
		y	0,02	0,01	0	0
		z	0,06	0,05	0	0
16:45 Uhr	Straßenbahn Einfahrt West	x	0,01	0,01	0	0
		y	0,03	0,01	0	0
		z	0,03	0,02	0	0
16:50 Uhr	Straßenbahn Ausfahrt Ost	x	0,01	0,01	0	0
		x	0,03	0,02	0	0
		y	0,01	0,01	0	0
16:51 Uhr	Straßenbahn Ausfahrt Ost	y	0,02	0,01	0	0
		z	0,05	0,03	0	0
		z	0,15	0,04	0,15	0
16:57 Uhr	Straßenbahn Ausfahrt Ost	x	0,03	0,02	0	0
		x	0,03	0,02	0	0
		y	0,03	0,02	0	0
16:58 Uhr	Straßenbahn Ausfahrt Ost	y	0,04	0,01	0	0
		z	0,16	0,09	0,16	0
		z	0,10	0,03	0	0
16:59 Uhr	Straßenbahn Einfahrt West	x	0,01	0,01	0	0
		x	0,02	0,02	0	0
		y	0,01	0,01	0	0
17:00 Uhr	Straßenbahn Einfahrt West	y	0,02	0,01	0	0
		z	0,01	0,03	0	0
		z	0,04	0,04	0	0
17:02 Uhr	Straßenbahn Aus- und Einfahrt Ost	x	0,02	0,01	0	0
		x	0,04	0,02	0	0
		y	0,01	0,01	0	0
17:03 Uhr	Straßenbahn Aus- und Einfahrt Ost	y	0,04	0,01	0	0
		z	0,04	0,02	0	0
		z	0,18	0,04	0,18	0
17:04 Uhr	Straßenbahn Ausfahrt Ost	x	0,04	0,02	0	0
		x	0,03	0,02	0	0
		y	0,02	0,02	0	0
17:05 Uhr	Straßenbahn Ausfahrt Ost	y	0,03	0,01	0	0
		z	0,16	0,05	0,16	0
		z	0,21	0,04	0,21	0
17:08 Uhr	Straßenbahn Einfahrt West	x	0,02	0,01	0	0
		x	0,07	0,02	0	0
		y	0,02	0,01	0	0
17:09 Uhr	Straßenbahn Einfahrt West	y	0,05	0,02	0	0
		z	0,07	0,03	0	0
		z	0,09	0,11	0	0,11

Tab. A9: Prognostizierte Maximale KB_{Fmax} [-] und KB_{FTm} [-] Werte je Messpunkt und Richtung

	KB_{Fmax} [-]		KB_{FTm} [-]	
Richtung	MP 02	HLB	MP 02	HLB
x	0,27	0,53	0,13	0,33
y	0,30	0,22	0,15	0,16
z	0,86	0,85	0,48	0,49

	KB_{Fmax} [-]		KB_{FTm} [-]	
Richtung	MP 04	MP 06	MP 04	MP 06
x	0,07	0,03	0,00	0,00
y	0,05	0,02	0,00	0,00
z	0,27	0,11	0,16	0,03

Tab. A10: Prognostizierte KB_{FTr} [-] für den Tag- und Nachtzeitraum, Werte je Messpunkt und Richtung

	KB_{FTr} [-] tagsüber:		KB_{FTr} [-] nachts:	
Richtung	MP 02	HLB	MP 02	HLB
x	0,015	0,036	0,014	0,034
y	0,017	0,017	0,016	0,016
z	0,053	0,053	0,049	0,050

	KB_{FTr} [-] tagsüber:		KB_{FTr} [-] nachts:	
Richtung	MP 04	MP 06	MP 04	MP 06
x	0,000	0,000	0,000	0,000
y	0,000	0,000	0,000	0,000
z	0,080	0,017	0,039	0,008

Die Ergebnisse des HLB-Gebäudes basieren auf den Messdaten des MP 03.