



TROMBIK INGENIEURE AG

Dipl. Ing. ETH/SIA/suisse.ing

Limmattalstrasse 344

CH - 8049 Zürich

Tel: +41 44 344 41 71

Mail: trombik@trombik.ch

Web: www.trombik.ch

MWST: CHE-103.468.676

**ewb-BLS-Areal Stöckackerstrasse, Bern
Erschütterungs- und Körperschallimmissionen
infolge Bahnbetriebs (offene Strecke)**

EKS-Schutzmassnahmen: Voruntersuchungen

Vibrationsmessungen, Prognoseberechnungen, Beurteilung

Bericht Nr.: 22.04432.EDS.001.0

INHALTSVERZEICHNIS

1.	EINLEITUNG	3
2.	BEURTEILUNGSGRUNDLAGEN	5
	2.1. Belästigung des Menschen	5
	2.2. Wohnkomfort	7
	2.3. Erhöht erschütterungsempfindliche Nutzer / Geräte	8
	2.4. Erschütterungsempfindliche Geräte	8
	2.5. Schäden an Bauwerken	8
3.	MESSKAMPAGNE	9
	3.1. Messpunkte.....	9
	3.2. Technische Angaben zu den Messungen und Auswertungen	9
	3.3. Messresultate	9
4.	MODELL UND PROGNOSEN	16
	4.1. Ausbreitungsmodell.....	16
	4.2. Prognoseberechnungen.....	17
	4.3. Streckenausbau	17
	4.4. Baufelder	17
	4.5. Modell- / Berechnungsparameter	18
	4.6. Zugdaten	19
5.	BEURTEILUNG	20
	5.1. Parzelle „ ewb-BLS-Areal Stöckackerstrasse, Bern “	20
	5.2. Beurteilung nach BEKS	20
	5.3. Behaglichkeit des Menschen und Wertschöpfung	22
	5.4. Sensitivitätsbetrachtungen.....	24
6.	MÖGLICHE MASSNAHMEN	25
	6.1. Bauliche Massnahmen an der Quelle	25
	6.2. Bodenschlitze	25
	6.3. Massnahmen empfängerseits.....	25
	6.4. Innenausbau	26
	6.5. Empfohlene Massnahmen: Baufeld D.....	26
7.	SCHLUSSFOLGERUNGEN	28
8.	BEILAGENVERZEICHNIS	29

1. EINLEITUNG

Die Stadt Bern und die Grundeigentümerinnen ewb und BLS verfolgen die Absicht, das Areal zu einem dichten, gemischt genutzten und öffentlich zugänglichen Quartier weiterzuentwickeln. Zum Planungssperimeter gehören u.a. die Parzelle Nr. 3989 im Besitz der ewb sowie Teile der Parzellen Nrn. 4270 und 3737 im Besitz der BLS mit einer Gesamtfläche von rund 29'600 m².



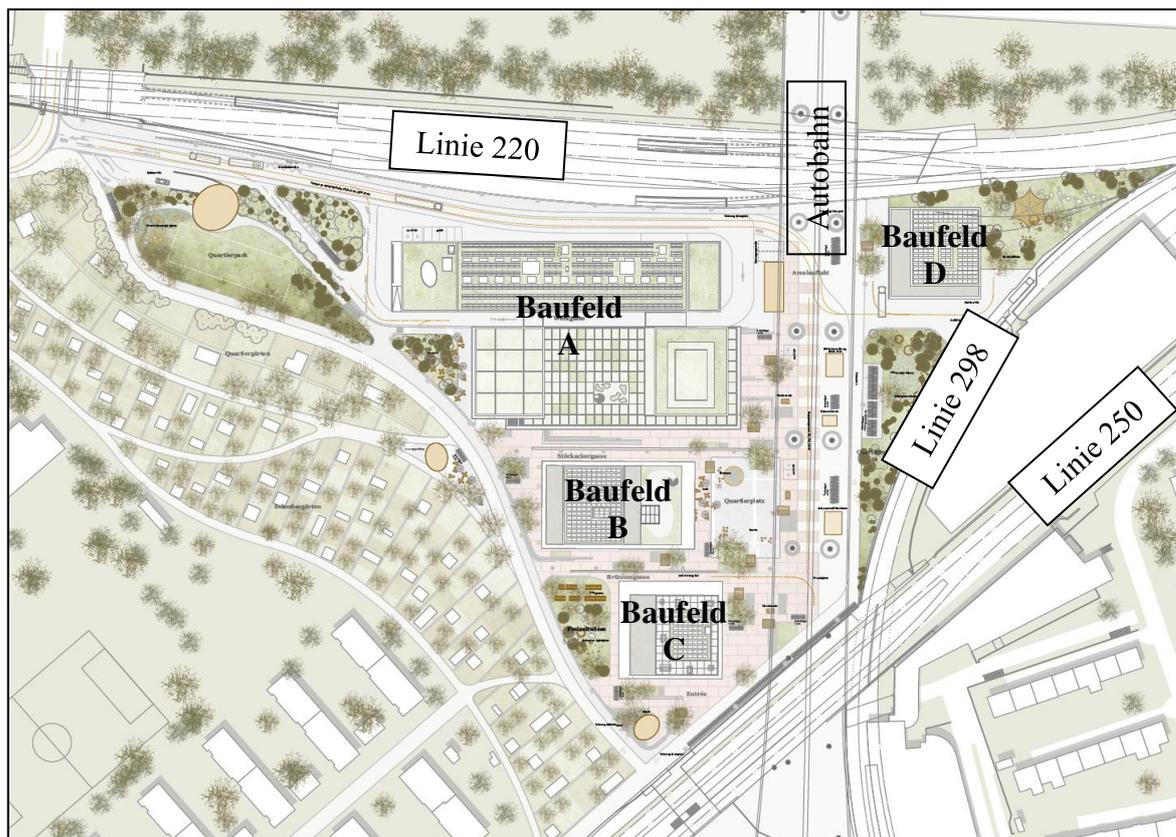
Visualisierung Überbauung «ewb-BLS-Areal Stöckackerstrasse, Bern»

Die Baukörper mit zum Teil sensiblen Nutzungen (u.a. Wohnungen) werden somit auf einem erschütterungsvorbelasteten Grundstück errichtet. In einer ersten Phase soll das Baugelände auf seine Vorbelastung in Bezug auf Erschütterungs- und Körperschallimmissionen voruntersucht werden: Basierend auf Erschütterungsmessungen und Prognoseberechnungen soll die Vorbelastung als Folge von der angrenzenden Bahn-Erschütterungsquelle hochgerechnet und mit gängigen Richtwerten verglichen werden. Da sich Erschütterungs- oder Körperschallprobleme abzeichnen, sind mögliche Verbesserungsmassnahmen vorzuschlagen.

Die Firma TROMBIK Ingenieure AG, Zürich wurde von den Bauherren (BLS Immobilien AG und Energie Wasser Bern) beauftragt, entsprechende Untersuchungen durchzuführen. Die Untersuchungsergebnisse sind im vorliegenden Bericht in Kurzform zusammengefasst. Für weitergehende Betrachtungen stehen die Unterlagen im Büro zur Verfügung.

Das ewb-BLS-Areal Stöckackerstrasse, Bern grenzt an mehrere schienengebundene Verkehrsträger.

- Bern Bümpliz Nord und Bern Wyermannshaus (Linie 220)
- Bern Bümpliz Süd und Bern Wyermannshaus (Linie 250)
- Bern Europaplatz und Bern Ausserholligen SBB (Linie 298)



Ausschnitt Situationsplan Umgebung, Studio Vulkan, Studie 2. Stufe

Für die Durchführung der vorliegenden Untersuchung standen insbesondere die folgenden Planunterlagen zur Verfügung:

- Offertanfrage für eine Studie über die Prognose der Erschütterungs- und Körperschallbelastungen im Jahr 2035 im ewb / BLS Areal, Ausserholligen Bern; BLS Immobilien, 08.11.2022
- Überbauungsordnung Stöckackerstrasse 33 – Ladenwandweg, Plan Nr. 1475 / 1, 07.10.2021
- Voruntersuchungen „Erschütterungs- und Körperschallimmissionen infolge Bahnbetriebs“, Bericht Nr. 22.04438.EDS.002, Trombik Ingenieure AG, Zürich; 24.01.2022
- Plandossier per '23.03.2023'; insb. Architekten-Übersichtspläne Baufelder A, B, C und D sowie Umgebung.

2. BEURTEILUNGSGRUNDLAGEN

Nachfolgend werden die Anforderungen hinsichtlich der durch die Bahn verursachten Erschütterungs- und Körperschallimmissionen in Kurzform zusammengefasst.

Nach geltender Rechtspraxis sind zur Erteilung der Baubewilligung durch die Behörden die Anforderungen der BEKS (Weisung für die Beurteilung von Erschütterungen und Körperschall bei Schienenverkehrsanlagen (BEKS) vom 20.12.1999, herausgegeben von BAV und BUWAL) einzuhalten. Zur Beurteilung der Erschütterungen verweist die BEKS auf die DIN 4150-2 (Juni 1999). Beim Körperschall gelten die Richtwerte der BEKS, die sich auf den L_{eq} des Tages, bzw. den L_{eq} der maximalen Nachtstunde beziehen. Vgl. Kap. 2.1.

Im Weiteren werden in diesem Kapitel weitere informative Beurteilungswerte angegeben, die zur Erhöhung der Behaglichkeit der Anwohner und Wertschöpfung für den Bauherrn dienen. Vgl. Kap. 2.2.

2.1. Belästigung des Menschen

Beurteilt wird bei Erschütterungs- und Körperschallimmissionen der vorliegenden Art in erster Linie die „Belästigung des Menschen“. Die „gesundheitliche Gefährdung des Menschen“ (siehe u. a. Wegleitung zur Verordnung 3 zum Arbeitsgesetz) muss selten genauer untersucht werden. Auszug aus der Verordnung 3 des Arbeitsgesetzes:

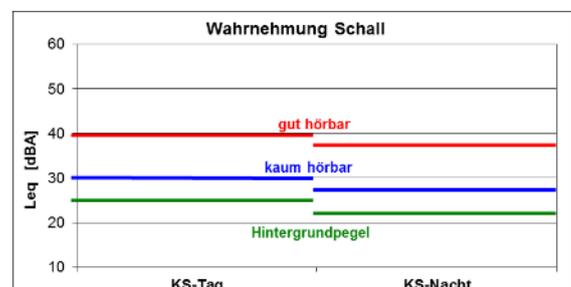
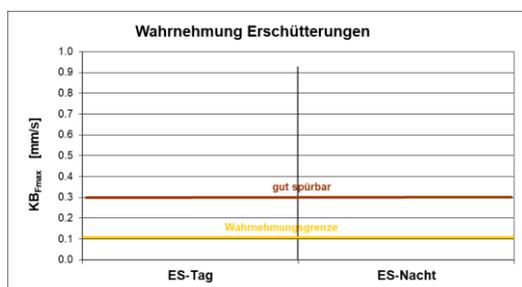
Art. 22 Lärm und Erschütterungen

1 Lärm und Erschütterungen sind zu vermeiden oder zu bekämpfen.

2 Zum Schutz der Arbeitnehmer sind insbesondere folgende Vorkehrungen zu treffen:

- bauliche Massnahmen;
- Massnahmen an Betriebseinrichtungen;
- Isolation oder örtliche Abtrennung der Lärmquelle;
- Massnahmen der Arbeitsorganisation.

2.1.1 Wahrnehmung



Wahrnehmungsgrenzen Erschütterungen und Schall

Die Grafik versucht die Wahrnehmung der Immissionen für den „durchschnittlichen“ Menschen darzustellen. Nachts werden die Zugsdurchfahrten - wegen des tieferen Hintergrundpegels – eher wahrgenommen.

2.1.2 Beurteilung nach BEKS

Bahnbetrieb: Immissionsrichtwerte abgestrahlter Körperschall

Die BEKS-Weisung definiert Richtwerte bezüglich **Körperschall** sowohl für Neu- (Planungsrichtwerte), als auch für Um- und Ausbauten bestehender Bahnanlagen (Immissionsrichtwerte).

Planungsrichtwerte (dBA)	Tag 16 Std. L_{eq}	Nacht 1 Std. L_{eq}
Reine Wohnzonen, Zonen für öffentl. Nutzung	35	25
Mischzonen, städtische Kernzonen, ländl. Dorfzonen	40	30

Immissionsrichtwerte (dBA)	Tag 16 Std. L_{eq}	Nacht 1 Std. L_{eq}
Reine Wohnzonen, Zonen für öffentl. Nutzung	40	30
Mischzonen, städtische Kernzonen, ländl. Dorfzonen	45	35

L_{eq} = durch Zugverkehr erzeugter, sekundär abgestrahlter, energieäquivalenter Dauerschallpegel am Immissionsort (energetischer Mittelungspegel im Innenraum), gemessen in Raummitte bei geschlossenen Fenstern. Mittelungsdauer: Ganzer Tag (16 Std. L_{eq}), bzw. die massgebende Nachtstunde (1 Std. L_{eq}).

Beurteilungszeiten: Tag = 06:00 – 22:00 Uhr (16h); Nacht = 22:00 – 06:00 Uhr (8h)
 Bezugswerte für dB-Angaben (Körperschall): Schalldruckpegel $p_o = 2 \times 10^{-5}$ Pa.

Für die Beurteilung von **Erschütterungsbelastungen** verweist die BEKS auf die DIN-Norm Nr. 4150-2 vom Juni 1999. Für die Beurteilung von Projekten betreffend oberirdischen und bestehenden Eisenbahnanlagen gelten die um einen Faktor 1.5 angehobenen Anhaltswerte nach Tabelle 1 der DIN 4150-2. Zu der BEKS-Weisung ist zu erwähnen, dass eine Beurteilung der Erschütterungs- und Körperschallsituation anhand dieser Richtlinie strenggenommen „freiwillig“ geschieht, da die BEKS-Weisung eigentlich nicht für den vorliegenden Fall anwendbar ist, sondern nur für die SBB selber als Verursacher gilt. Die Anforderungen der BEKS gelten aber im Normalfall trotzdem für die Bewilligung des Bauvorhabens durch die Behörden, da damit für die Anwohner eine erhebliche Störung in ihrem Wohlbefinden im Sinne des Umweltschutzgesetzes (USG) Art. 15 vermieden werden kann.

Bahnbetrieb: Anhaltswerte Erschütterungen

Beurteilungsschwingstärke KB_{FTr} , KB_{Fmax} [-]	Anhaltswerte A_r		Anhaltswerte A_o	
	Tag	Nacht	Tag	Nacht
Nutzungsart:				
- W: Wohngebiete	0.07	0.05	3.0	0.6
- M: Mischgebiete, Kerngebiete, Dorfgebiete	0.10	0.07	5.0	0.6
- G: Gewerbegebiet	0.15	0.10	6.0	0.6
- I: Industriegebiet	0.20	0.15	6.0	0.6

Anhaltswerte A_r , A_o bei Neuanlagen für Erschütterungen nach BEKS

Beurteilungszeiten: Tag = 06⁰⁰ - 22⁰⁰ Uhr (16h); Nacht = 22⁰⁰ - 06⁰⁰ Uhr (8h)

Anhaltswerte: Die Werte basieren auf der DIN 4150⁴ "Erschütterungen im Bauwesen, Teil 2: Einwirkungen auf Menschen im Gebäude", Ausgabe vom Juni 1999. Als Beurteilungsgrundlage dienen die Anhaltswerte der Tabelle 1 angepasst an die Verhältnisse für die Erweiterung bestehender Schienenverkehrswege (DIN 4150, Teil 2, Ziffer 6.5.3.4, Ziffer 6.5.3.5).

Bei der Anwendung der DIN 4150-2 werden die ermittelten Schwingungsgrößen frequenzbewertet; es entstehen dadurch sogenannte "KB-Werte". Jede Zugvorbeifahrt wird durch (mindestens) einen Taktmaximalwert KB_{FTi} charakterisiert (30-Sekunden Takt); der Maximalwert aller Zugvorbeifahrten KB_{Fmax} (maximale bewertete Schwingstärke) wird zunächst mit den Anhaltswerten A_u (unterer Anhaltswert) und A_o (oberer Anhaltswert) verglichen. Ist $KB_{Fmax} < A_u$, so sind die Anforderungen der Norm erfüllt. Ist $KB_{Fmax} > A_o$, so sind die Anforderungen der Norm nicht erfüllt, wobei bei Bahnlagen dieser Punkt nicht von primärem Belang ist (siehe Ziffer 6.5.3.5). Liegt KB_{Fmax} zwischen A_u und A_o , dann ist eine Mittelwertbildung KB_{FTm} vorzunehmen, welche als Taktmaximal-Effektivwert KB_{FTe} (über die Beurteilungszeit) mit Anhaltswerten A_r verglichen wird.

2.2. Wohnkomfort

2.2.1 Abgestrahlter Körperschall: SIA 181:2020

In Anlehnung an die SIA 181 wird für abgestrahlten Körperschall infolge Schienenverkehrs empfohlen, die Anforderungen für „Geräusche haustechnischer Anlagen und fester Einrichtungen im Gebäude“ beizuziehen:

<i>emissionsseitige Geräuschart (Senderraum)</i>	<i>Einzelgeräusche</i>		<i>Dauergeräusche Funktions- oder Benutzungsger.</i>
	<i>Funktionsgeräusche</i>	<i>Benutzungsgeräusche</i>	
<i>Lärmempfindlichkeit</i>	<i>Anforderungswerte L_H [dBA]</i>		
<i>gering</i>	38	43	33
<i>mittel</i>	33	38	28
<i>hoch</i>	28	33	25

SIA 181:2020, Tabelle 6: Mindestanforderungen an den Schutz gegen Geräusche haustechnischer Anlagen und fester Einrichtungen in Gebäuden.

Bei erhöhten Anforderungen gelten gemäss SIA 181:2020, Art. 3.4.1 die um 4 dBA verringerten Werte. Dazu gilt 25 dBA als Kleinstwert.

2.2.2 Beurteilung nach VDI 2038

Mit der VDI 2038 kann die Gebrauchstauglichkeit von Bauwerken bei dynamischen Einwirkungen beurteilt werden. Für Geschossdecken im Wohn- und Industriebau werden in Anlehnung an DIN 4150-2 die folgenden KB-Werte angegeben (VDI 2038 Blatt 2, Januar 2013, Kap. 7.2.3.2):

Komfortniveau	KB _{Fmax} -Werte
Hoher Komfort	KB _{Fmax} < 0.2
Mittlerer Komfort	0.2 ≤ KB _{Fmax} ≤ 1.0
Geringer Komfort / Unwohlsein	1.0 ≤ KB _{Fmax} ≤ 2.5

2.2.3 Möglichkeit von Vorgaben durch die Bauherrschaft

Bauherren, Käufer und Mieter von Arbeits- und Wohnraum stellen oft höhere Anforderungen, als sie im USG bzw. in den oben erwähnten Normen und Richtlinien beschrieben sind. Hier geht es um die Behaglichkeit von Menschen im Gebäude und die Wertschöpfung für den Ersteller des Gebäudes. Für die Beurteilung der Immissionen werden deshalb oft Zielwerte für Erschütterungen und Körperschall von Einzelvorbeifahrten zusammen mit der Bauherrschaft festgelegt, die den Anforderungen der VDI 2038 (Gebrauchstauglichkeit von Bauwerken bei dynamischen Einwirkungen) bzw. SIA 181 (Schallschutz im Hochbau) angeglichen sind (zulässige Immissionen einer typischen Zugvorbeifahrt). Unterschieden wird bei der Festlegung objektspezifischer Zielwerte auch, ob es sich um eine offene Strecke handelt oder die Trasseeführung unterirdisch verläuft (Verschärfung der Anforderungen da die Bahn nicht sichtbar ist).

2.3. Erhöht erschütterungsempfindliche Nutzer / Geräte

Es wurden keine erhöht erschütterungsempfindlichen Nutzer und/oder Geräte ausgeschieden: Es wird angenommen, dass die zu erwartenden Vibrationen u.a. für das Gesundheitszentrum im Baufeld C (gemäss Erläuterungsbericht der 2. Stufe) und für die Zahnarztpraxis im Baufeld D (angedeutet in den Übersichtsplänen) zu keinen Betriebseinschränkungen führen.

2.4. Erschütterungsempfindliche Geräte

Grenzwerte sind von Maschine zu Maschine stark unterschiedlich und müssen spezifisch definiert werden (zulässige Schwinggeschwindigkeiten bezüglich des Frequenzbereichs: Zulässiges Amplitudenspektrum).

2.5. Schäden an Bauwerken

Die Beurteilung „Schäden an Bauwerken“ gemäss VSS 40 312:2019 „Erschütterungseinwirkung auf Bauwerke“ beinhaltet Richtwerte, die gewährleisten, dass bei ihrer Einhaltung in der Regel Schäden infolge Erschütterungseinwirkungen an Bauwerken vermieden werden und war nicht primär Gegenstand dieser Untersuchung, da schienenverkehrsinduzierte Erschütterungen selten Schädigungspotential aufweisen.

3. MESSKAMPAGNE

3.1. Messpunkte

Die Aufnahme der heutigen Erschütterungssituation bezüglich des Bahntrassees wurde anhand von Fundamentmesspunkten und einem Decken-/Raummesspunkt durchgeführt. Bei der Wahl der Messpunkte wurde darauf geachtet, dass die maximalen Erschütterungen von Durchfahrten, die üblicherweise nahe von Weichen und Schienenstössen gemessen werden, erfasst wurden:

- MP 01: Stöckackerstrasse 37, Bern:
 - Fundament: Erschütterungen (Triaxialsensor)
 - 2. OG: Erschütterungen (Triaxialsensor) und Schall
- MP 02: Stöckackerstrasse 25, Bern:
 - Fundament: Erschütterungen (Triaxialsensor)
- MP 03: Stöckackerstrasse 33, Bern:
 - Fundament: Erschütterungen (Triaxialsensor)

Die Messkampagne zur Erfassung der räumlichen Schwinggeschwindigkeiten [mm/s] sowie des abgestrahlten Körperschalls fand am 6. April 2023 statt. An den Messorten wurden während dem Tag mehrere Einzelereignisse / Zugvorbeifahrten registriert.

Eine Übersicht über die Messpositionen ist in → **Beilage N°1** dargestellt, Fotos der Messorte finden sich in → **Beilage N°2**. Das Messprotokoll findet sich in → **Beilage N°3**.

3.2. Technische Angaben zu den Messungen und Auswertungen

Die Messungen und Resultatauswertungen fanden mit Hilfe von hochwertigen Messgeräten und unter Beachtung der gängigen Verfahren statt. Eine Liste des verwendeten Geräteparks findet sich in → **Beilage N°5**.

3.3. Messresultate

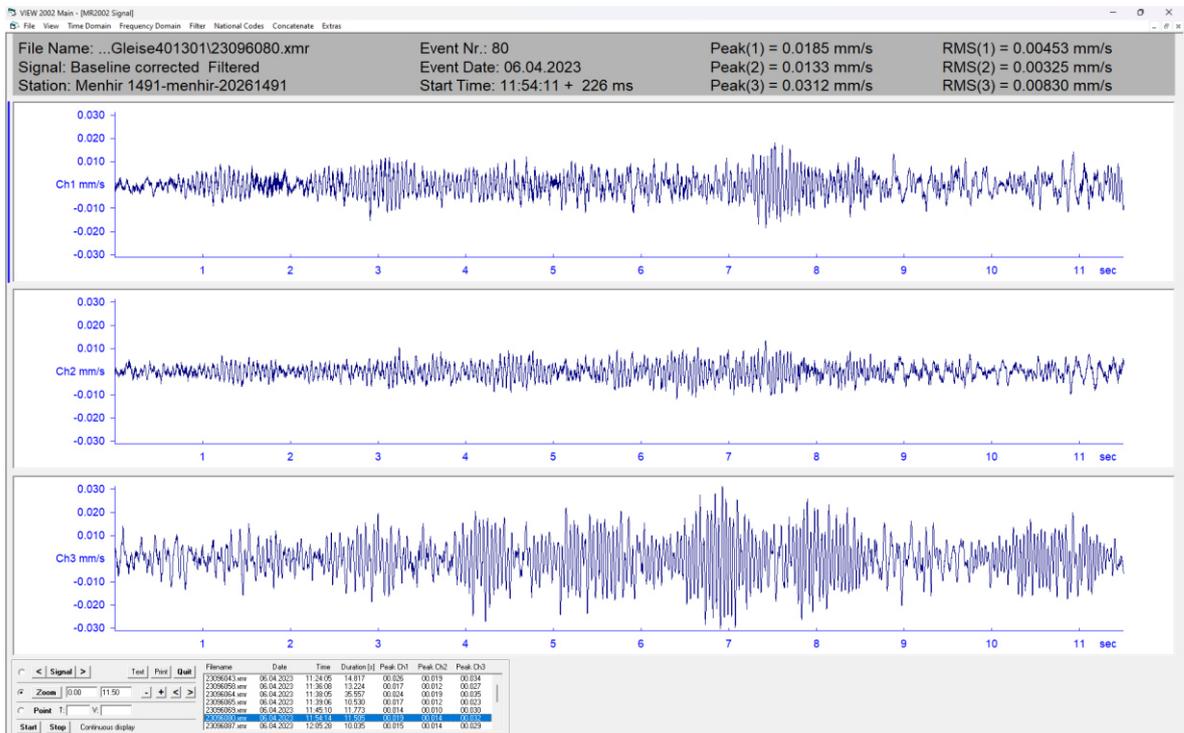
3.3.1 Ausgewählte Messdaten und Messauswertungen

In den folgenden Unterkapiteln werden typische Messaufzeichnungen von Zugvorbeifahrten dargestellt. Da für die Immissionsprognosen Emissionsspektren benötigt werden, wurden alle Zugvorbeifahrten frequenzanalysiert und energetisch gemittelt. Anschliessend an die typischen Messaufzeichnungen werden als Extrakt die massgebenden Emissionsspektren dargestellt.

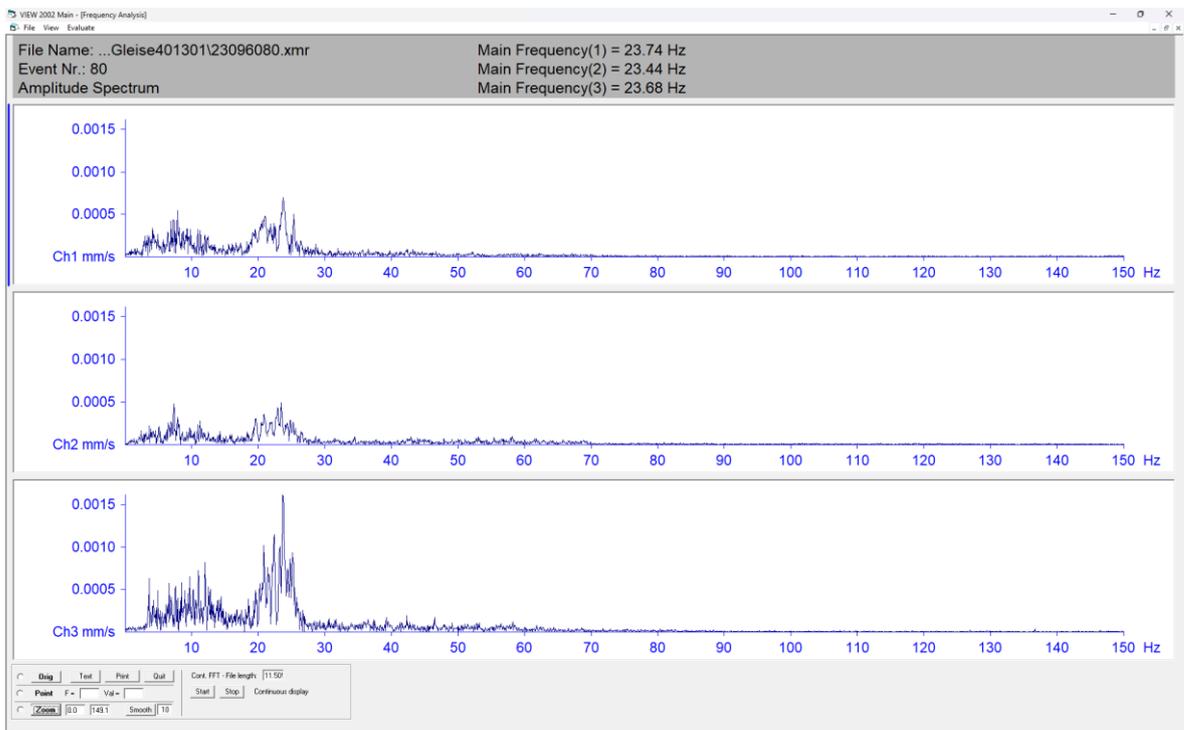
3.3.2 Zugvorbeifahrten

Es werden Zeitverläufe und Schmalband-Frequenzspektren von typischen Zugvorbeifahrten aufgeführt.

MP01, Fundament: Personenzugvorbeifahrt Gleis 2 (401) Amplituden in mm/s Schwinggeschwindigkeit

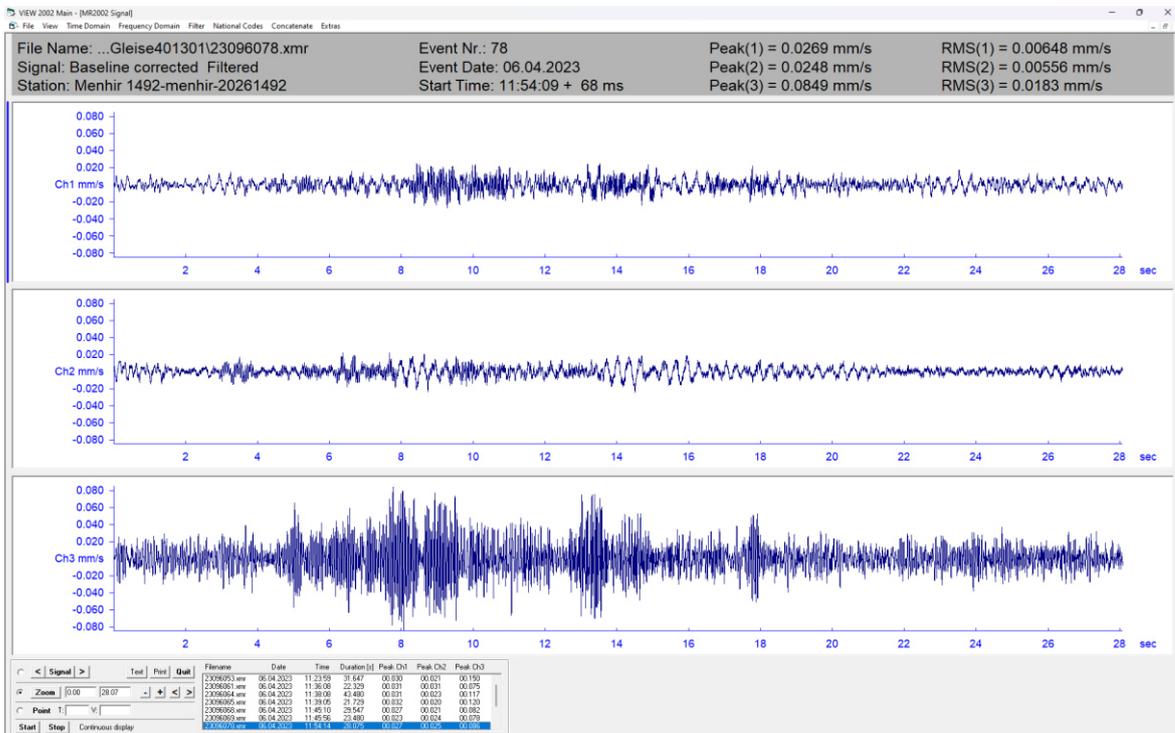


Zeitverlauf Zugvorbeifahrt

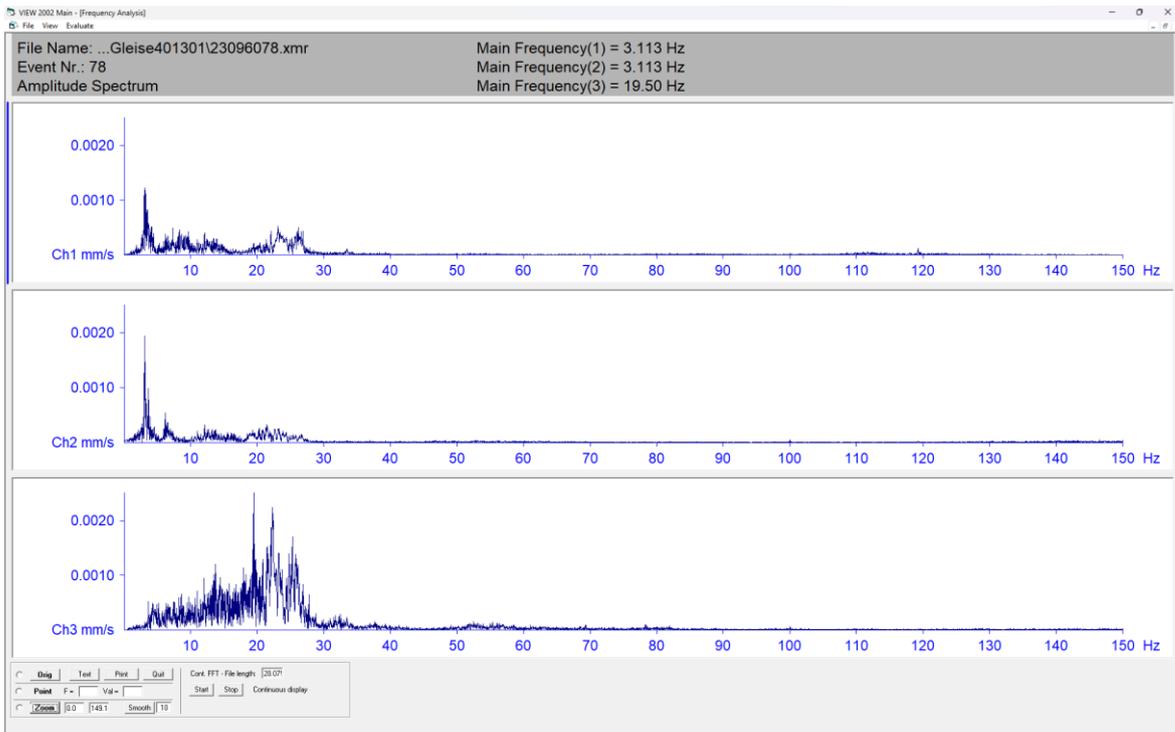


Schmalband-Frequenzspektrum Zugvorbeifahrt

MP01, 2.OG: Personenzugvorbeifahrt Gleis 2 (401)
 Amplituden in mm/s Schwinggeschwindigkeit



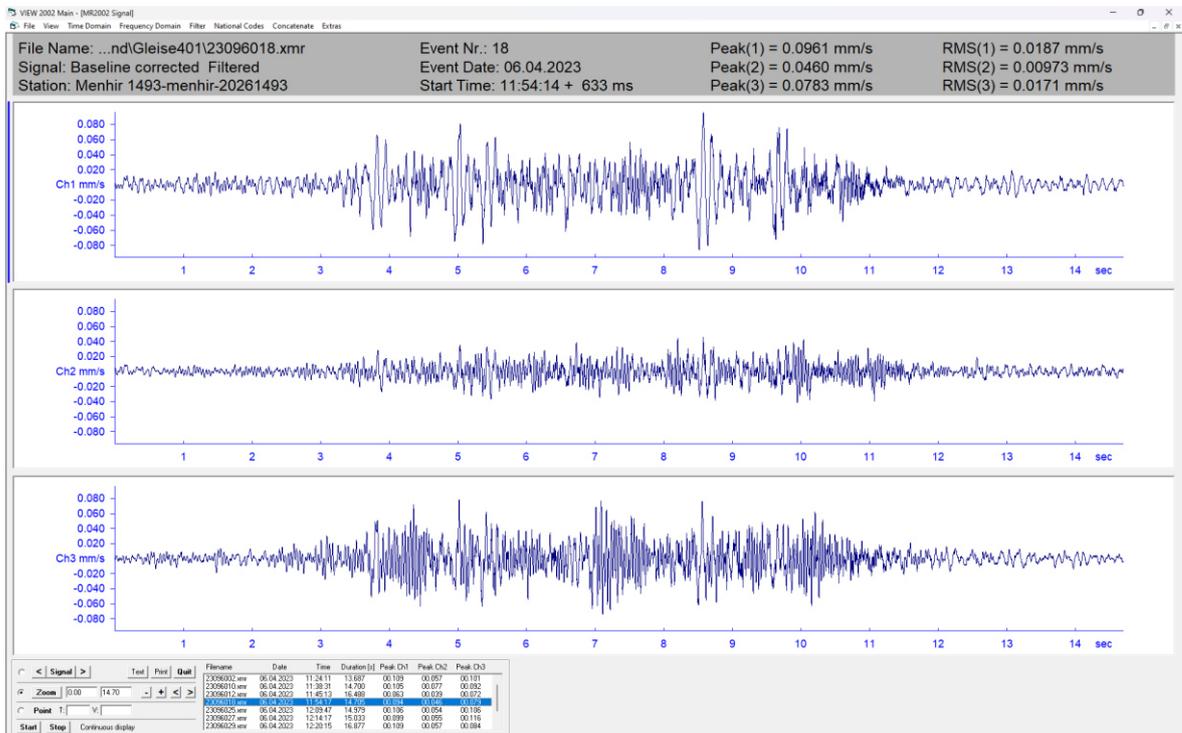
Zeitverlauf Zugvorbeifahrt



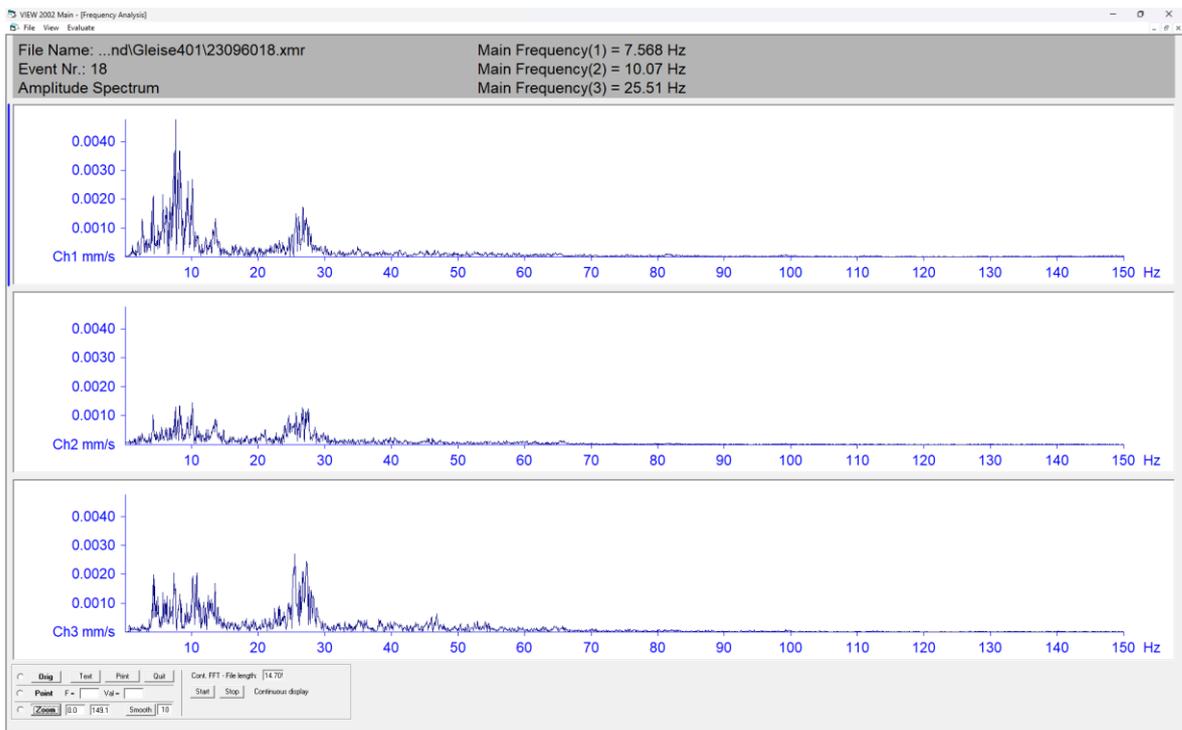
Schmalband-Frequenzspektrum Zugvorbeifahrt

MP02, Fundament: Personenzugvorbeifahrt Gleis 2 (401)

Amplituden in mm/s Schwinggeschwindigkeit

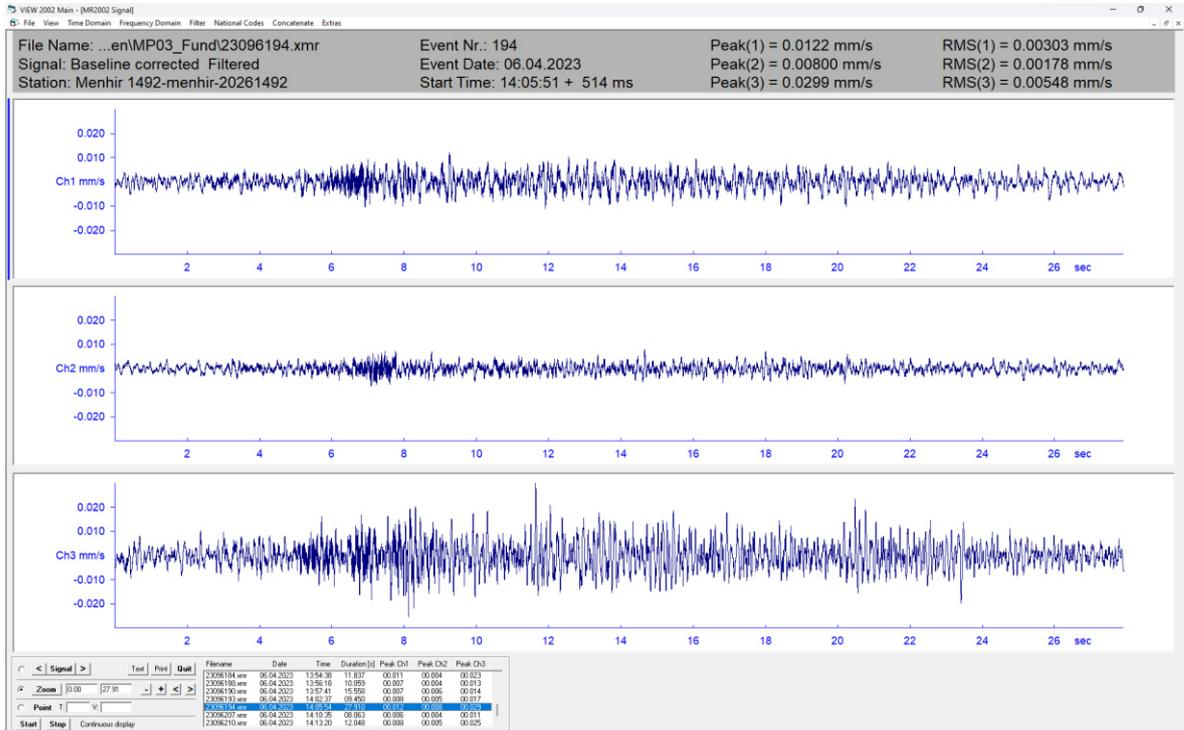


Zeitverlauf Zugvorbeifahrt

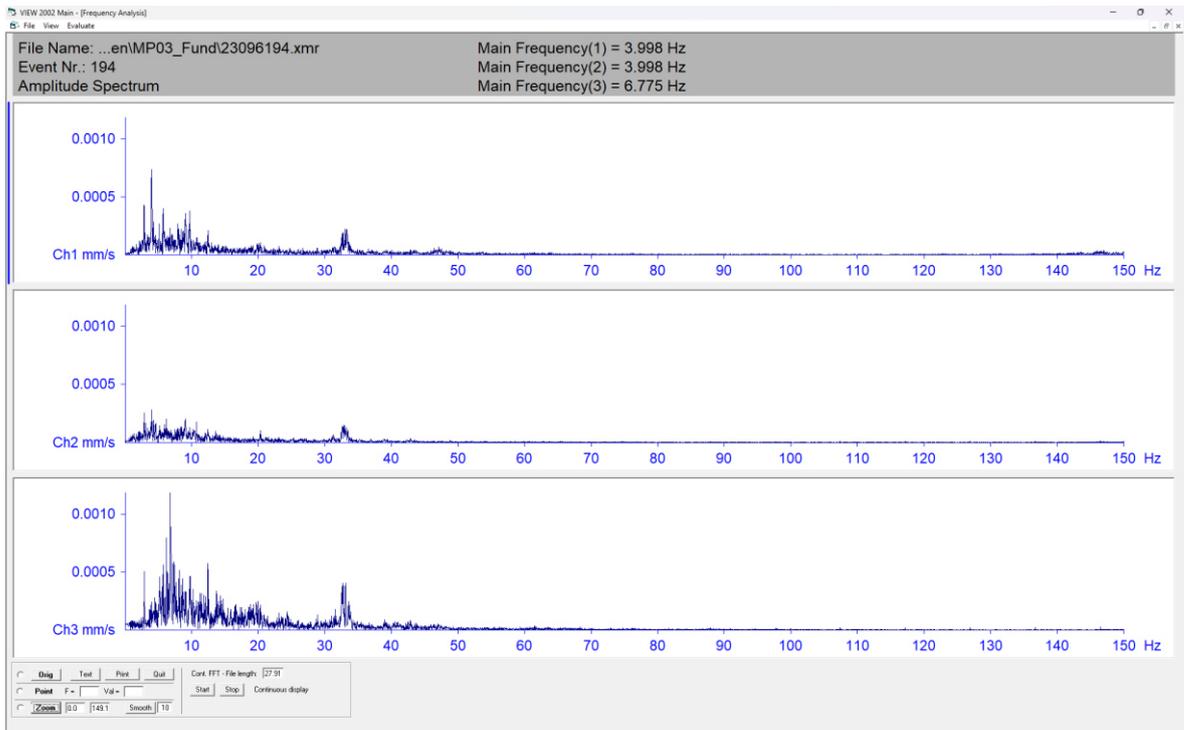


Schmalband-Frequenzspektrum Zugvorbeifahrt

MP03, Fundament: Güterzugvorbeifahrt Gleis 05 Amplituden in mm/s Schwinggeschwindigkeit



Zeitverlauf Zugvorbeifahrt



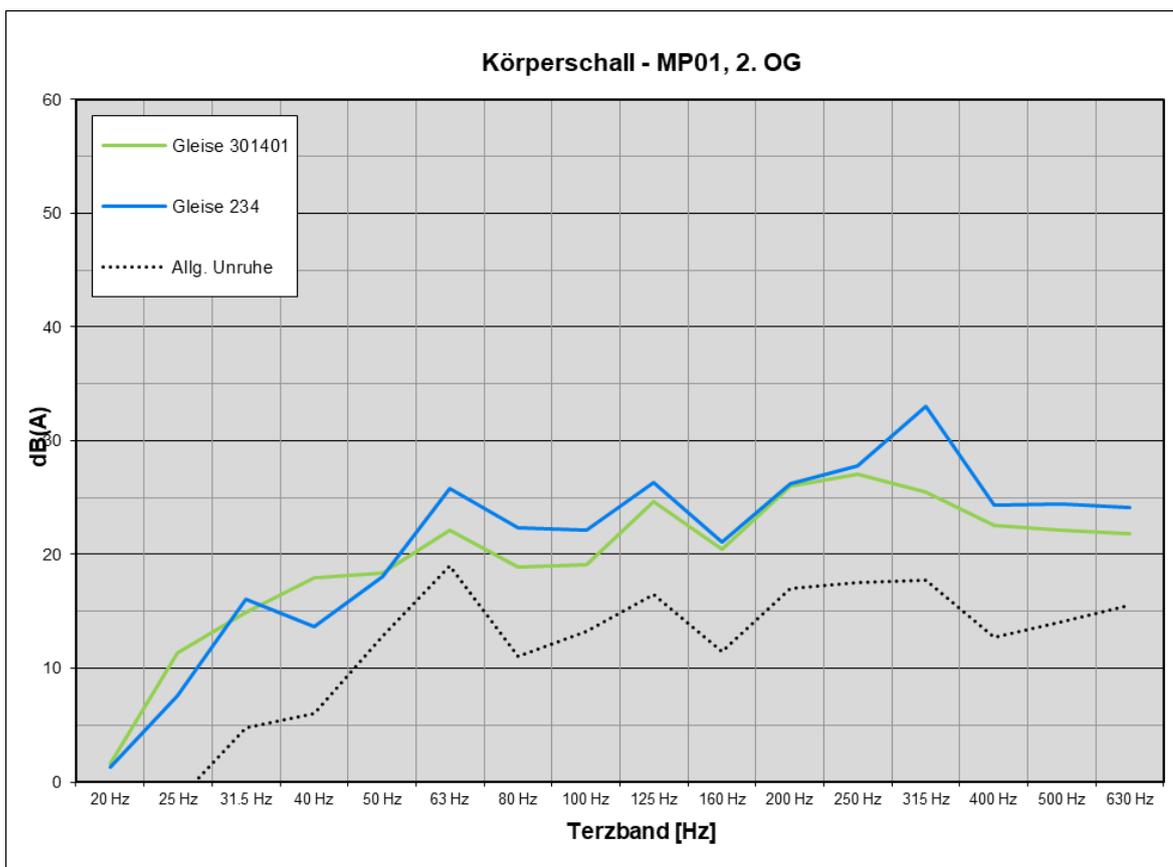
Schmalband-Frequenzspektrum Zugvorbeifahrt

3.3.3 Terzbandspektren

Das Ziel der Messkampagne mit Erschütterungsmessungen in situ ist, ortsspezifische Erschütterungs- und Körperschallspektren zu ermitteln, mit denen die Erschütterungs- und Körperschallimmissionen im geplanten Neubau prognostiziert werden können. Aus dem Zeitverlauf der Schwinggeschwindigkeit werden energetisch gemittelte Terzbandspektren gebildet. (siehe auch → *Beilage N°4*).



Erschütterungs – Terzbandspektren



Summenpegel durchschnittlicher Körperschall [dBA]:

Körperschall - MP01, 2. OG

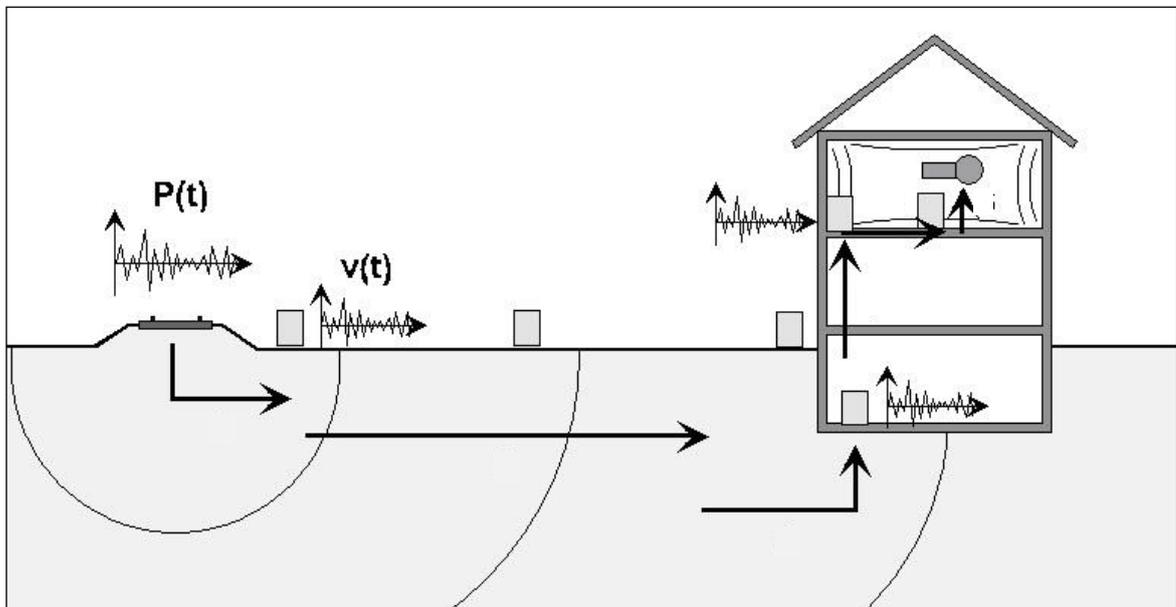
Terzbänder		20 Hz	25 Hz	31.5 Hz	40 Hz	50 Hz	63 Hz	80 Hz	100 Hz	125 Hz	160 Hz	
Allg. Unruhe	Leq =	23.0	-6.0	-1.6	4.8	6.0	12.8	19.0	11.0	13.3	16.5	11.5
Gleise 301401	Leq =	29.6	1.6	11.4	14.9	18.0	18.4	22.1	18.9	19.1	24.7	20.5
Gleise 234	Leq =	31.5	1.3	7.6	16.1	13.7	18.1	25.8	22.4	22.1	26.3	21.1

Körperschall – Terzbandspektren

4. MODELL UND PROGNOSEN

4.1. Ausbreitungsmodell

Die am Geleise je nach Fahrzeug, Oberbauart, -lage und -ausführung als Emission verursachte **Erschütterung** wird über Oberbaukonstruktion und Boden auf ein naheliegendes Gebäudefundament und von hier über die Mauern auf die Wohnräume bzw. deren Geschossdecken übertragen. Auf dem Weg vom Geleise zum Gebäudefundament schwächt sich die Erschütterung infolge Ausbreitungs- und Materialdämpfung ab. Beim Übergang vom Boden auf das Fundament erfährt die Erschütterung eine weitere Reduktion als Folge des sogenannten Ankoppelungseffekts. Die Erschütterung des Gebäudefundamentes erreicht praktisch unverändert die oberen Stockwerke, kann aber durch das Eigenschwingungsverhalten der Geschossdecken mehr oder weniger verstärkt werden.



Modellvorstellung Erschütterungsausbreitung

Durch die Vibrationen von Fussboden und Decke, und zu einem geringeren Teil auch durch die Vibrationen der Wände, wird in einem Raum wiederum hörbarer Schall verursacht, der sogenannte **abgestrahlte Körperschall**. Der Zusammenhang zwischen Erschütterungsamplitude und abgestrahltem Körperschall ist sehr komplex. Mit verschiedenen Gleichungen kann man zeigen, dass zwischen dem abgestrahlten Schall und der Vibration ein Zusammenhang besteht.

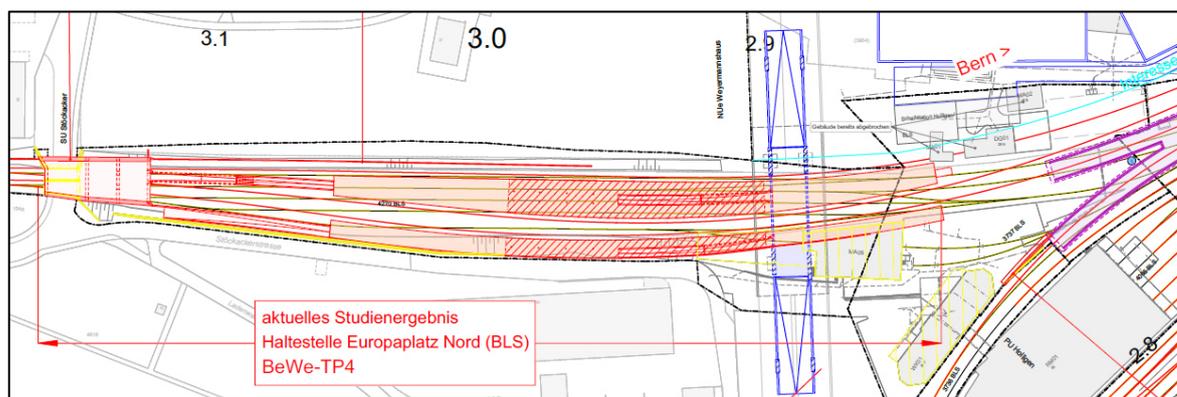
Bei einem frequenzabhängigen Ausbreitungsmodell wird dieser stufenweise Ausbreitungs- und Abstrahlvorgang nicht mit jeweils einer einzigen Zahl beschrieben, sondern es wird eine Spektraldarstellung verwendet; die Schwingung wird als Funktion der Frequenz erfasst. Die Ausgangsgrösse ist somit nicht eine einfache Anregungsamplitude, sondern ein Anregungsspektrum, und an die Stelle von Abminderungs- und/oder Ankoppelungsfunktionen treten Transferfunktionen und/oder Transferspektren.

4.2. Prognoseberechnungen

Die Abschätzung und Beurteilung der in den geplanten Überbauungen zu erwartenden Erschütterungs- und Körperschallimmissionen infolge Bahnverkehrs basiert auf den Messdaten, Erfahrungswerten und den durchgeführten Ausbreitungsberechnungen. Die durch Bahnverkehr verursachten Erschütterungs- und Körperschallimmissionen wurden mit einem semi-empirischen, frequenzabhängigen Ausbreitungsmodell (VIBRA-2) berechnet: Rechnerische Prognose unter Anwendung von teilweise durch die Messungen normalisierten Standard-Parametern.

4.3. Streckenausbau

Der geplante Streckenausbau seitens der SBB / Veränderung der Bahntrassees gemäss «AS25, Leistungssteigerung Bern West» wurde in den Prognoseberechnungen berücksichtigt. Durch den Streckenausbau und die Umlagerung des täglichen Verkehrs ist infolge der zu den Gebäuden des Baufelds A näherliegenden Hauptgleisen von einer deutlichen Erhöhung der Erschütterungs- und Körperschallimmissionen auszugehen.

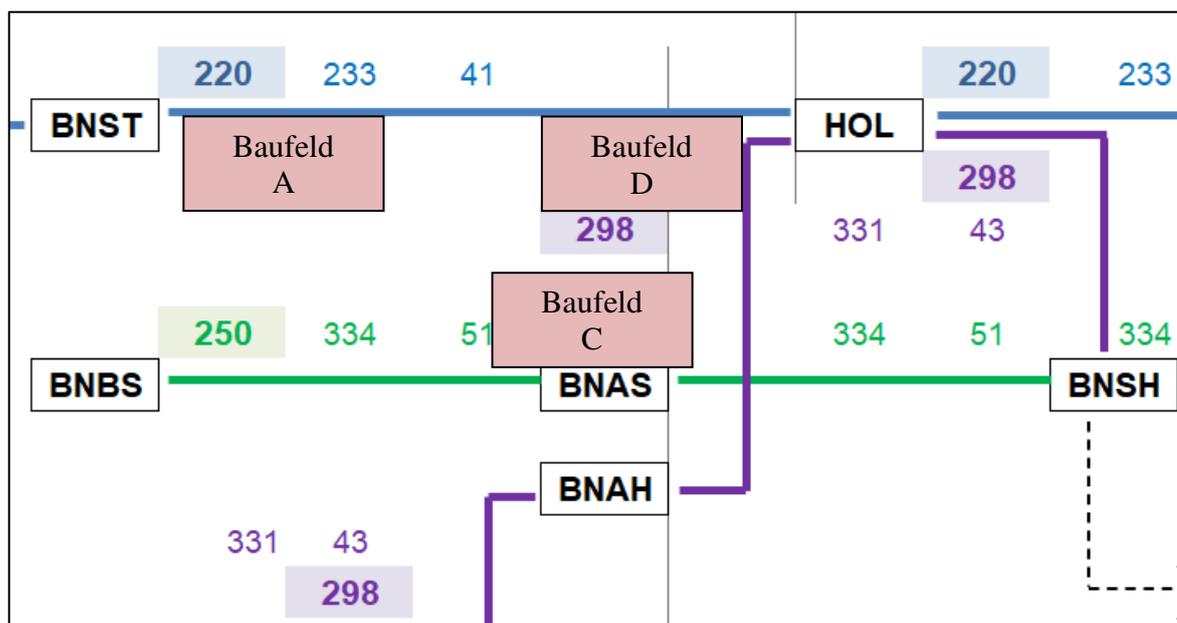


AS25, Leistungssteigerung Bern West, Ausschnitt Europaplatz Nord

4.4. Baufelder

Die Prognoseberechnungen werden für die folgenden drei Baufelder durchgeführt (detaillierte Darstellung der Baufelder siehe Seite 4: Überbauungsordnung Stöckackerstrasse 33 - Ladenwandweg):

- Baufeld A: Linie 220 Abstand 1. Gleisachse = 20 m (AS25)
- Baufeld C: Linie 250 und 298 Abstand 1. Gleisachsen = 18 und 43 m
- Baufeld D: Linie 220 und 298 Abstand 1. Gleisachsen = 10 und 10 m



Schematische Darstellung der Baufelder und der Bahnlinien

4.5. Modell- / Berechnungsparameter

Die für die vorliegende Situation verwendeten Daten basieren einerseits auf den vorgehend beschriebenen Messungen, andererseits auf einer Grosszahl von früheren Erschütterungsmessungen, kombiniert mit theoretischen Ansätzen über die Erschütterungsausbreitung, sowie auf Literaturangaben.

Emissionen: - **gemäss Messungen.** Definiert in typisiertem Abstand neben Gleis / Entfernung zur Gleisachse entsprechend Position Messensor. Offene Streckenführung.

Lokale Gleisbesonderheit: - **gemäss Messungen**

Korrekturen: - **keine (alles Standard), auch keine Geschwindigkeitskorrekturen (Geschwindigkeiten gemäss Messungen)**

Ausbreitung: - **Lockergestein**

Gebäudean-koppelung & Gebäudeausbreitung: - **MFH (gemäss Messungen)**
- Deckentypen **Beton 12 – 40 Hz**
- sonst **keine** Besonderheiten

Körperschallumwandlung: - **KS-Berechnung nach VIBRA2**

Für eine Untersuchung werden üblicherweise aus der Vielzahl von möglichen Parametervariationen betreffend den schienengebundenen Verkehr, der Gleisführung, dem Baugrund und der Bauweise der Gebäude entlang der Gleisstrecke einige „typische Kategorien“ definiert, anhand welcher die Erschütterungs- und Körperschallimmissionen berechnet werden. Dank den Messpositionen am Fundament sind in den Messresultaten die Parameter „Emission“ (Bahntyp, Gleisart, Gleisunterbau, usw.), „Ausbreitung“ (Transferfunktion im Baugrund) und «Gebäudeankoppelung bereits enthalten, so dass diese relativ genau berücksichtigt werden konnten. Für die Gebäudeübertragungsfunktion werden verschiedene Geschossdeckentypen durchgerechnet und ein Mittelwert gebildet.

4.6. Zugdaten

Die für die Berechnungen notwendigen Zugzahlen wurden gemäss Angabe SBB verwendet (Streckenabschnitte 220: BNST-HOL, 250: BNAS-BNSH und 298: BNAH-HOL). Für die massgebende Nachtstunde wurde der über die ganze Nacht gemittelte stündliche Wert für Personenzüge verdoppelt; für Güterzüge um 50% erhöht.

Strecke Abschnitt	Zugtyp Vibra	Fahrgeschw.	Tag		Nacht			ZugArt P/G/D	Gleise Anzahl	Tag		Nacht	
			Z/h tags	Länge tags	Z/h nachts	Länge nachts	Zmax/h Nacht			Z/Tag	Z/Nacht		
Linie 220: Bern Holligen - Bern Stöckacker													
HOL - BNST	R, S-Bahn	77	12.000	175.00	3.000	157.50	6.000	P	2	192.00	24.00		
	NAG	68	0.313	242.00	0.250	242.00	0.375	G	2	5.01	2.00		
	NG	68	0.250	180.00	0.250	180.00	0.375	G	2	4.00	2.00		
	D	77	1.875	150.00	1.500	150.00	3.000	D_P	2	30.00	12.00		
	D	68	0.125	136.00	0.125	136.00	0.188	D_G	2	2.00	1.00		
	PZ	77	13.875	171.62	4.500	155.00	9.000	PZ	2	222.000	36.00		
GZ	68	0.688	200.21	0.625	196.00	0.938	GZ	2	11.008	5.00			
Linie 250: Bern Europaplatz - Bern Steigerhubel (Abzw)													
BNAS - BNSH	NEIKO	117	2.000	182.00	0.500	150.00	1.000	P	2	32.00	4.00		
	EC/IC	99	4.000	242.00	1.000	200.00	2.000	P	2	64.00	8.00		
	R, S-Bahn	99	8.000	140.00	2.000	103.80	4.000	P	2	128.00	16.00		
	FLIRT	99	2.000	148.00	0.500	148.00	1.000	P	2	32.00	4.00		
	NAG	85	0.063	321.00	0.500	321.00	0.750	G	2	1.01	4.00		
	NG	85	0.125	118.00	0.250	118.00	0.375	G	2	2.00	2.00		
	GZ	85	0.063	300.00	0.125	300.00	0.188	G	2	1.01	1.00		
	UKV	85	0.063	270.00	0.000	0.00	0.000	G	2	1.01	0.00		
	D	99	4.250	294.26	1.250	183.00	2.500	D_P	2	68.00	10.00		
	D	85	0.313	119.00	0.250	143.00	0.375	D_G	2	5.01	2.00		
	PZ	101	20.250	197.46	5.250	149.59	10.500	PZ	2	324.000	42.000		
GZ	85	0.627	172.46	1.125	234.00	1.688	GZ	2	10.032	9.000			
Linie 298: Bern Holligen - Bern Europaplatz													
HOL - BNAH	R, S-Bahn	54	8.000	140.00	2.000	102.60	4.000	P	2	128.00	16.00		
	FLIRT	54	12.000	116.67	3.000	105.00	6.000	P	2	192.00	24.00		
	D	54	0.313	85.00	0.125	85.00	0.250	D_P	2	5.01	1.00		
	D	47	0.375	68.00	0.250	68.00	0.375	D_G	2	6.00	2.00		
PZ	54	20.313	125.37	5.125	103.58	10.250	PZ	2	325.008	41.000			
GZ	47	0.375	68.00	0.250	68.00	0.375	GZ	2	6.000	2.000			

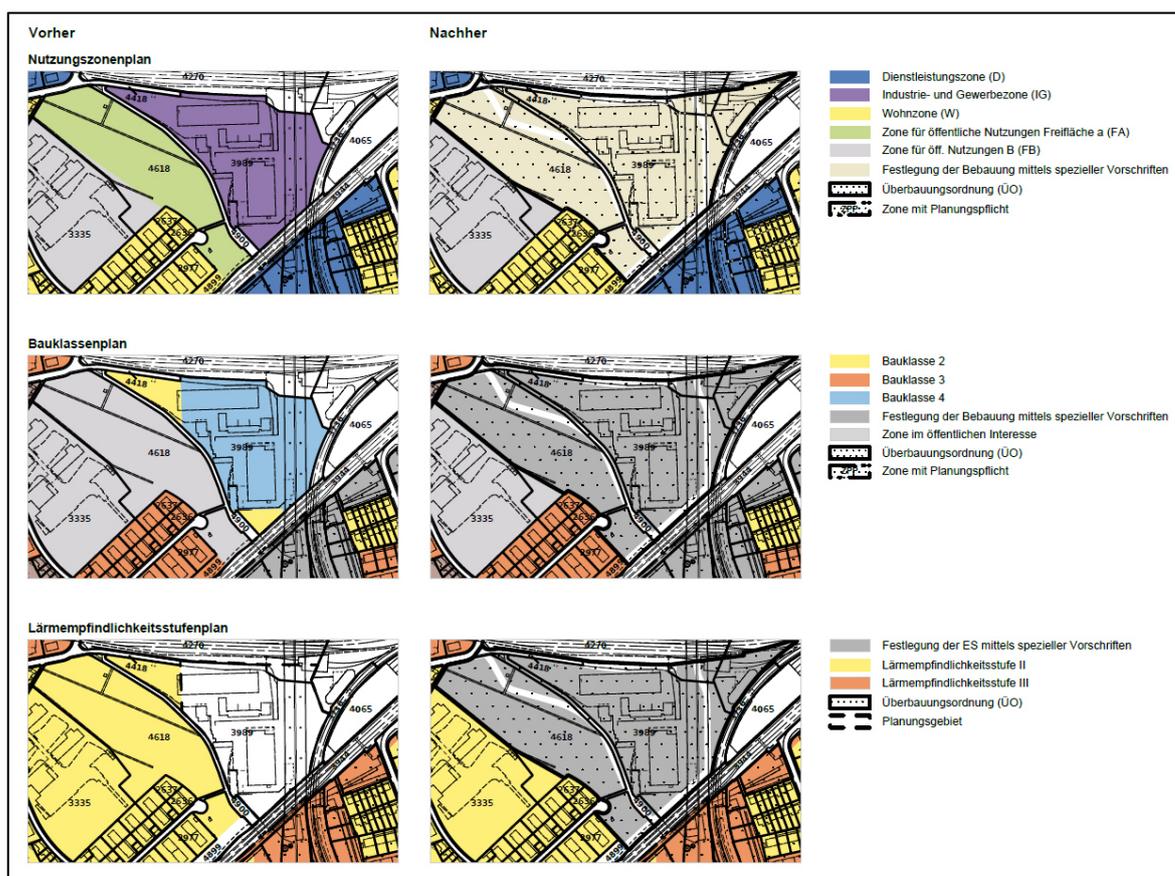
Zugzahlen (gemäss Angabe SBB)

Die verwendeten Zugzahlen (Zugstyp, mittlere Fahrgeschwindigkeit, Zuglänge, etc.) sind auch in → *Beilage N°7* (VIBRA-2-Berechnungen) ersichtlich.

5. BEURTEILUNG

5.1. Parzelle „ ewb-BLS-Areal Stöckackerstrasse, Bern “

Immissionsort(e):	Wohnungen
Zone:	Festlegung der Bebauung mittels spezieller Vorschriften
	Annahme: Mischzone
Empfindlichkeitsstufe:	Annahme: III
Erschütterungsquelle(n):	Bahn



Ausschnitt Überbauungsordnung (Plan Nr. 1475 / 1)

5.2. Beurteilung nach BEKS

BEKS: Die Beurteilung der Erschütterungs- und Körperschallsituation erfolgt mittels der „Weisung für die Beurteilung von Erschütterungen und Körperschall bei Schienenverkehrsanlagen vom 20.12.1999 (BEKS, herausgegeben vom BAV und BUWAL)“. Da es sich um eine Neuprojektierung handelt, gelangen beim Körperschall die Planungsrichtwerte zur Anwendung, bei den Erschütterungen die einheitlichen Richtwerte der DIN 4150/2. Zonenmässig wird von einer Mischzone ausgegangen.

Die Erschütterungsprognosen gelten für die jeweils nächstgelegenen Gebäudeteile mit erschütterungsempfindlicher Nutzung.

Zur BEKS-Weisung ist zu erwähnen, dass eine Beurteilung der Erschütterungs- und Körperschallsituation anhand dieser Richtlinie streng genommen „freiwillig“ geschieht, da die BEKS-Weisung eigentlich nicht für den vorliegenden Fall anwendbar ist, sondern nur für die SBB selber als Verursacher gilt, jedoch normalerweise auch von den Behörden zur Bewilligung des Bauprojektes herangezogen wird.

Richtwerte gemäss BEKS/DIN

Neue Anlagen (Neuanlagen / Planungsrichtwerte)	Industriezone	I	0.200	-	0.150	-	0.6
	Gewerbezone	G	0.150	-	0.100	-	0.4
	Mischzone	M	0.100	40	0.070	30	0.3
	Wohnzone	W	0.070	35	0.050	25	0.2

Farbcodes (Schattierungen):	Maximalwerte	Richtwertüberschreitungen
-----------------------------	--------------	---------------------------

5.2.1 Baufeld A

Immissionsort	Zone	Tag (16h)		Nacht (8h)		KB _{Fmax}
		KB _{FTr}	16h L _{eq}	KB _{FTr}	1h L _{eq}	
Wohnen, Betondecken 12 Hz	M	0.027	8.6	0.017	6.6	0.185
Wohnen, Betondecken 16 Hz	M	0.021	8.8	0.014	6.8	0.159
Wohnen, Betondecken 20 Hz	M	0.016	9.1	0.011	7.1	0.126
Wohnen, Betondecken 25 Hz	M	0.014	9.5	0.009	7.5	0.102
Wohnen, Betondecken 32 Hz	M	0.013	10.1	0.009	8.1	0.113
Wohnen, Betondecken 40 Hz	M	0.015	11.7	0.011	9.6	0.152

→ Die Anhaltswerte nach BEKS-Weisung werden hinsichtlich Erschütterungen und Körperschall eingehalten.

5.2.2 Baufeld C

Immissionsort	Zone	Tag (16h)		Nacht (8h)		KB _{Fmax}
		KB _{FTr}	16h L _{eq}	KB _{FTr}	1h L _{eq}	
Wohnen, Betondecken 12 Hz	M	0.027	8.6	0.017	6.6	0.185
Wohnen, Betondecken 16 Hz	M	0.021	8.8	0.014	6.8	0.159
Wohnen, Betondecken 20 Hz	M	0.016	9.1	0.011	7.1	0.126
Wohnen, Betondecken 25 Hz	M	0.014	9.5	0.009	7.5	0.102
Wohnen, Betondecken 32 Hz	M	0.013	10.1	0.009	8.1	0.113
Wohnen, Betondecken 40 Hz	M	0.015	11.7	0.011	9.6	0.152

→ Die Anhaltswerte nach BEKS-Weisung werden hinsichtlich Erschütterungen und Körperschall eingehalten.

5.2.3 Baufeld D

Immissionsort	Zone	Tag (16h)		Nacht (8h)		KB _{Fmax}
		KB _{FTr}	16h L _{eq}	KB _{FTr}	1h L _{eq}	
Wohnen, Betondecken 12 Hz	M	0.069	17.9	0.036	16.1	0.286
Wohnen, Betondecken 16 Hz	M	0.051	18.0	0.027	16.2	0.211
Wohnen, Betondecken 20 Hz	M	0.047	18.1	0.025	16.3	0.195
Wohnen, Betondecken 25 Hz	M	0.057	18.5	0.030	16.6	0.246
Wohnen, Betondecken 32 Hz	M	0.043	18.9	0.022	17.0	0.187
Wohnen, Betondecken 40 Hz	M	0.032	19.3	0.017	17.4	0.135

→ Die Anhaltswerte nach BEKS-Weisung werden hinsichtlich Erschütterungen und Körperschall eingehalten.

5.3. Behaglichkeit des Menschen und Wertschöpfung

Beurteilt wird bei Erschütterungsimmissionen und Körperschallimmissionen der vorliegenden Art in erster Linie die „Belästigung des Menschen“. Als massgebend für diese Belästigung wird der Maximalwert/-pegel einer einzelnen Zugvorbeifahrt postuliert. Die „gesundheitliche Gefährdung des Menschen“ (siehe u. a. Wegleitung zur Verordnung 3 zum Arbeitsgesetz) muss selten genauer untersucht werden. In zweiter Linie geht es auch um die Wertschöpfung für den Ersteller des Gebäudes.

ERSCHÜTTERUNGEN: VDI 2038

Im vorliegenden Fall empfehlen wir folgende **Zielwerte**:

- Eigentumswohnungen KB < 0.2 (hoher Komfort)
- Mietwohnungen KB < 0.2 (hoher Komfort)
- Mietwohnungen KB < 1.0 (mittlerer Komfort)

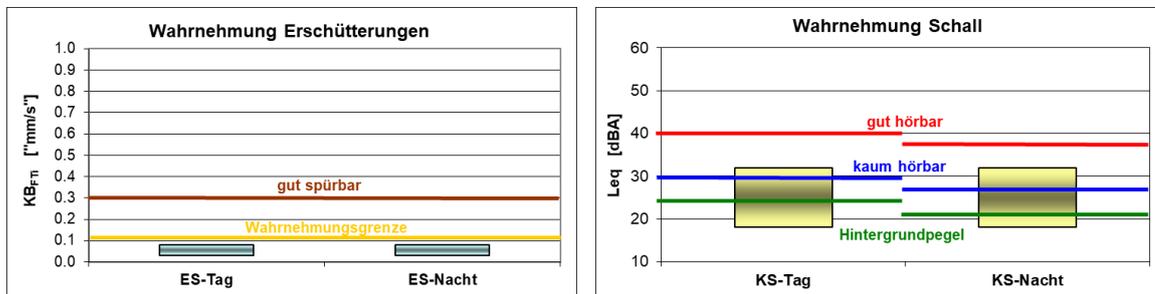
ABGESTRAHLTER KÖRPERSCHALL: SIA 181:2020

Es wurden keine Räume mit sehr hoher Lärmempfindlichkeit (Benutzer mit besonders hohem Ruhebedürfnis) ausgeschieden. Als **Richtwert** wird für Mietwohnungen (normale Anforderungen) im Allgemeinen / bei offener Streckenführung ein Wert von 38 dBA empfohlen und bei Eigentumswohnungen / ruhebedürftiger Nutzung (erhöhte Anforderungen) ein Wert von 34 dBA:

- Eigentumswohnungen Leq < 34 dBA (hoher Komfort)
- Mietwohnungen Leq < 34 dBA (hoher Komfort)
- Mietwohnungen Leq < 38 dBA (mittlerer Komfort)

5.3.1 Baufeld A

WAHRNEHMUNG



→ Die Erschütterungen sind gemäss Prognose im Bereich nicht ‘spürbar’. Der abgestrahlte Körperschall liegt im Bereich ‘kaum hörbar’.

PROGNOSEWERTE:

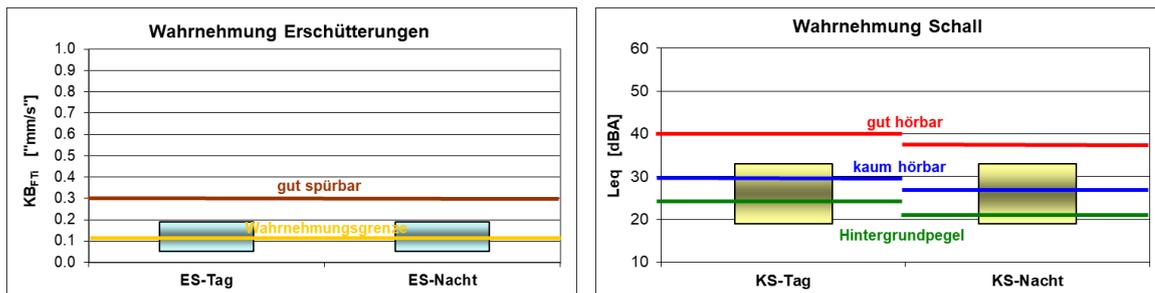
Einzelne Zugsvorbeifahrt Maximalwert (95%-Fraktile)	Erschütterungen [KB _{FTi}]	Körperschall [Leq _i]
Massgebendes Gleis	0.07	32

→ Der empfohlene Zielwert für Erschütterungen wird eingehalten.

→ Der Richtwert für abgestrahlten Körperschall wird eingehalten.

5.3.2 Baufeld C

WAHRNEHMUNG



→ Die Erschütterungen sind gemäss Prognose im Bereich der Wahrnehmungsgrenzen. Der abgestrahlte Körperschall liegt im Bereich ‘kaum hörbar’.

PROGNOSEWERTE:

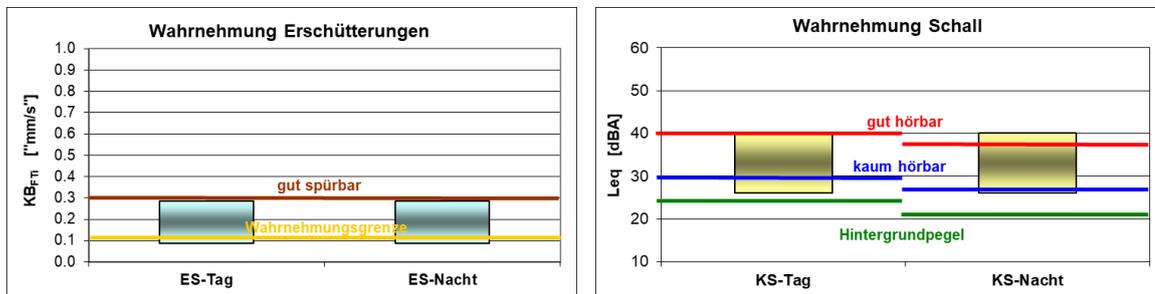
Einzelne Zugsvorbeifahrt Maximalwert (95%-Fraktile)	Erschütterungen [KB _{FTi}]	Körperschall [Leq _i]
Massgebendes Gleis	0.19	32

→ Der empfohlene Zielwert für Erschütterungen wird eingehalten.

→ Der Richtwert für abgestrahlten Körperschall wird eingehalten.

5.3.3 Baufeld D

WAHRNEHMUNG



→ Die Erschütterungen sind gemäss Prognose im Bereich ‘spürbar’. Der abgestrahlte Körperschall liegt im Bereich ‘hörbar’.

PROGNOSEWERTE:

Einzelne Zugsvorbeifahrt Maximalwert (95%-Fraktile)	Erschütterungen [KB_{FTi}]	Körperschall [Leq_i]
Massgebendes Gleis	0.286	39.9

- Der empfohlene Zielwert für Erschütterungen wird für hohe Komfortansprüche überschritten.
- Der Richtwert für abgestrahlten Körperschall wird überschritten.

5.4. Sensitivitätsbetrachtungen

Es muss betont werden, dass die einzelnen Parameter der Modellrechnung eine grosse Variabilität aufweisen. Die grösste Streuung findet sich beim Verstärkungsfaktor für die Ausbreitung der Erschütterungen innerhalb von Gebäuden. Für Holzdecken und schlanke, weitgespannte Betondecken kann z.B. ein Wert von 8 angenommen werden. Messungen zeigen aber, dass dieser Wert zwischen 4 und 30 variiert! Für Betondecken variiert er zwischen 2 und 8. Zudem weist auch die Umrechnung der Erschütterungen in den abgestrahlten Körperschall eine beträchtliche Streuung auf. Etwas geringer sind die Streuungen bei den übrigen Parametern, doch sind auch hier Variationen zwischen 50 % und 200 % der verwendeten Werte möglich. Die für die Immissionsberechnungen verwendeten Parametersätze beruhen auf den Erfahrungen einer Vielzahl von Messungen für ähnliche Situationen, und stehen für eine „vernünftige“, d.h. weder zu konservativer noch zu optimistischer Modellrechnung.

6. MÖGLICHE MASSNAHMEN

In Anbetracht des vorliegenden Bauvorhabens und den prognostizierten Erschütterungs- und Körperschallimmissionen können folgende Massnahmen zur Anwendung gelangen:

6.1. Bauliche Massnahmen an der Quelle

Am effizientesten sind Massnahmen an der Quelle, d.h. nebst sorgfältig gewartetem und modernem Rollmaterial reduzieren vor allem Massnahmen am Gleisoberbau die zu erwartenden Immissionen. Solche umfassen insbesondere elastische Zwischenschichten jeglicher Art im Aufbau des Gleiskörpers, wie z. B. Unterschottermatten oder Schwellenbesohlungen (bei Schotteroberbau), elastische Schienen- und/oder Schwellenlagerungen (bei festem Oberbau), oder allenfalls ganze Masse-Feder-Systeme. Diese Massnahmen liegen allerdings nicht im Einflussbereich der Projektierenden, sondern bei der SBB Infrastruktur, und werden deshalb nicht weiterverfolgt.

6.2. Bodenschlitze

Da bei oberflächennaher Schwingungsanregung etwa 67 % der Gesamtenergie in Form von Rayleigh-Wellen (Oberflächenwellen) transportiert werden, ist es naheliegend, bei Massnahmen auf dem Übertragungsweg die Oberfläche zu unterbrechen. Dies kann z.B. durch offene, permanent elastische, bzw. ausbetonierte Schlitze erfolgen. Solche Bodenschlitze haben sich jedoch in der Praxis bislang mit wechselndem Erfolg bewährt; eine Prognose, der im Vergleich zu den anderen Massnahmen geringen Dämmwirkung, ist zudem schwierig.

6.3. Massnahmen empfängerseits

Bereits recht gut erprobt sind Massnahmen auf der Empfängerseite. In der Regel handelt es sich um elastische Trennschichten, z.B. ein elastisches „Abtrennen“ der an das Erdreich anstossenden Strukturteile (Bodenplatte, Stützenfundamente, Aussenwände). Solche Massnahmen können das ganze Gebäude oder allenfalls Teilbereiche umfassen und werden vor allem bei Neubauten angewandt. Auch eine elastische Trennschicht innerhalb des Gebäudes ist schon an manchen Orten eingesetzt worden. Damit können auch gebäudeinterne Quellen reduziert werden, z. B. bei Wohnnutzung über Gewerbenutzungen. Planung und Ausführung sind allerdings wesentlich aufwändiger als Trennungen gegenüber dem Erdreich. Die Fläche der elastischen Trennschicht ist jedoch meist geringer als bei der Flächenlagerung. Ist eine tieffrequente Abstimmung der Massnahme notwendig, kommen auch Federelemente innerhalb des Gebäudes zum Einsatz.

Die einzelnen Vorbeifahrtspegel werden durch die Lagerung stark reduziert und erfahrungsgemäss kann bei guter Entkoppelung eine Verringerung des abgestrahlten Körperschalls um bis zu 10.0 dB und mehr (je nach realer Situation) erreicht werden. Die einzelne Vorbeifahrt ist dann auch bei ruhiger Umgebung durch den Menschen in der Regel kaum

mehr wahrnehmbar. Die Wirkung auf die Erschütterungen ist allerdings wegen der höheren Abstimmfrequenz bei Elastomeren beschränkt.

6.4. Innenausbau

Für empfindliche Räume (und auch Geräte) können lokal (zusätzliche) Massnahmen vorgesehen werden. Diese sind einzeln in Bezug auf eine allenfalls vorhandene elastische Gebäudelagerung und insbesondere auch auf vorhandene, gebäudeinterne Erschütterungsquellen abzustimmen. Die Abstrahlung von Körperschall kann durch Vorschalten von Strömungswiderständen (Mineralfaserplatten) oder Verkleidungen reduziert werden. Diese Abstrahlreduktion sollte an allen Raumbegrenzungsflächen erfolgen. Kahle / glatte Wände führen zu erhöhten Körperschallabstrahlwerten und ebenfalls zu einer Erhöhung der Nachhallzeit. Die Nachhallzeit ist analog durch Wand- und Deckenbekleidungen sowie auch absorbierende Möblierung auf eine minimale Grösse zu reduzieren. Dadurch wird auch der Schallpegel reduziert. Der Einbau eines sehr guten Unterlagsboden (Abstimmfrequenz ≤ 30 Hz) reduziert die Körperschallabstrahlung vom Boden her und somit auch den Schallpegel im Raum.

6.5. Empfohlene Massnahmen: Baufeld D

Ohne Massnahmen werden die Erschütterungsenergien direkt über die Seitenwände der Untergeschosse und die Bodenplatte ins Gebäude eingeleitet. Aufgrund der zu erwartenden Erschütterungs- und Körperschallimmissionen wird für das Baufeld D eine elastische Teilentkopplung der Aussenwände und unterhalb der Bodenplatten sowie minimale Deckeneigenfrequenzen empfohlen:

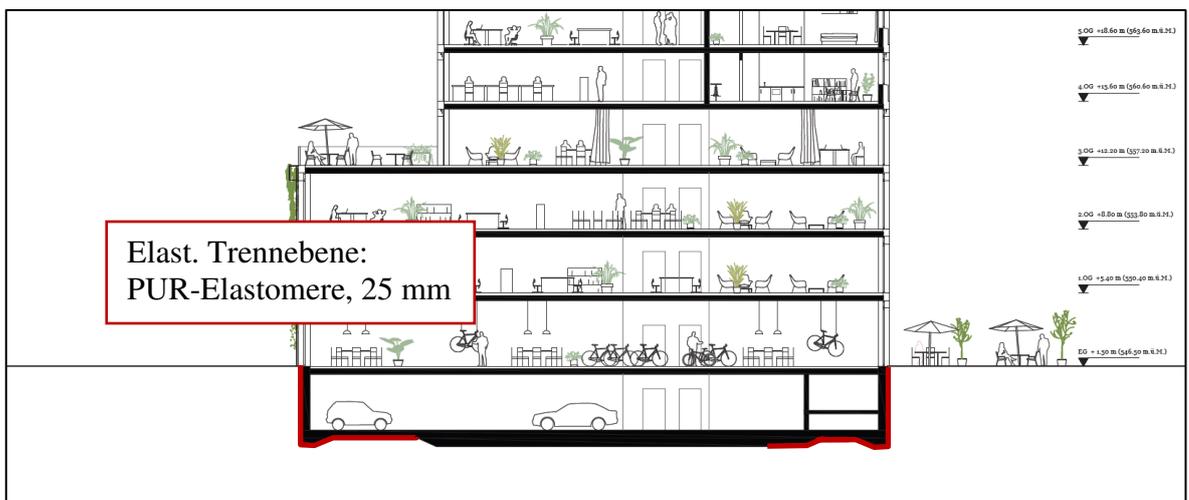
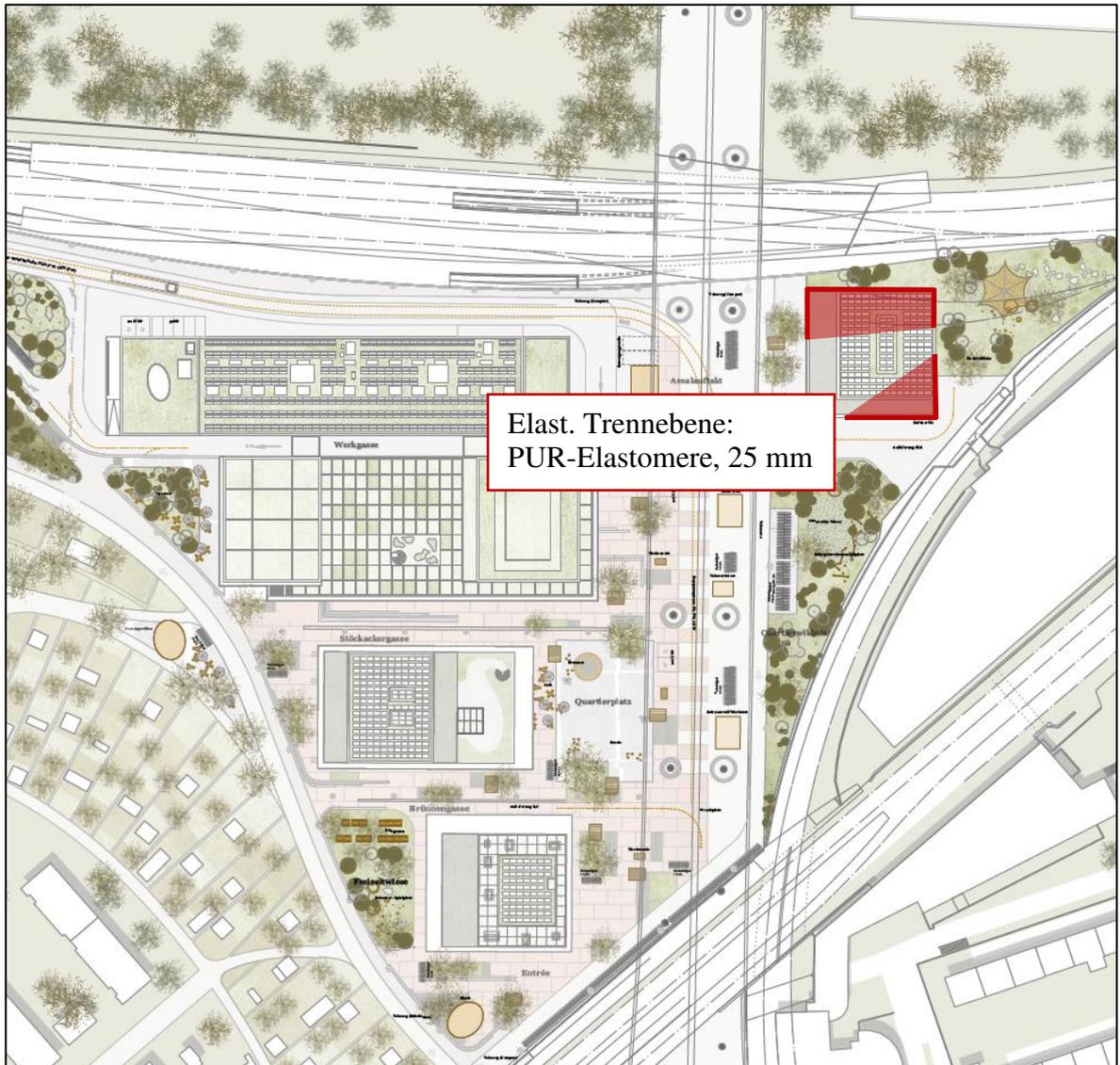
Massnahme 1: Elastische Trennung gegenüber Erdreich (siehe folgende Skizzen)

- **Bahn- und stirnseitig: Elastische (Teil-)Entkopplung der Aussenwände und unterhalb der Bodenplatte im vorderen Gebäudeteil gegen die Bahnanlagen** (25mm starke elastische Trennebene, Abstimmfrequenz < 15 Hz). Der **Grundwasserspiegel** liegt oberhalb der Gebäudefundation und ist zu berücksichtigen. Auf eine **durchgehende Entkopplung** vom Untergrund ist zu achten: Leitungen, Durchbrüche, etc. sind ebenfalls zu entkoppeln.

Massnahme 2: Deckenversteifung / Überprüfen der massg. Deckeneigenfrequenzen

- Die **Decken-Grundeigenfrequenzen sind auf einen Wert von mind. 25 Hz** auszulegen. In Bezug zu den Eigenschaften der elastischen Teilentkopplung wird empfohlen, sofern technisch machbar und wirtschaftlich vertretbar, die Decken auf eine Grundeigenfrequenz von mind. 25 Hz auszulegen.

In der jetzigen Planungsphase sind noch nicht alle Details bekannt. Für eine detaillierte Auslegung der Massnahmen (Entkopplungstiefe der elastischen Lagerung) bedarf es einer gesonderten Untersuchung.



*Empfohlene EKS-Schutzmassnahme Baufeld D:
Elastische Trennungen Bodenplatte und Aussenwände UG*

7. SCHLUSSFOLGERUNGEN

- **Es ist davon auszugehen, dass die als Emission verursachten Erschütterungen der Bahnstrecke über die erdberührten Aussenwände und von der Bodenplatte auf die Wohnräume bzw. deren Geschossdecken übertragen werden. Weitere Erschütterungsquellen z.B. infolge Strassenverkehrs können als nicht massgebend betrachtet werden.**
- **Die Erschütterungen infolge der Personen- und Güterzugvorbeifahrten sind für den Menschen spürbar. Der abgestrahlte Körperschall ist in den Wohnungen zum Teil gut hörbar und kann als störend wahrgenommen werden. Dies betrifft insbesondere das Baufeld D.**
- **Basierend auf den vor Ort durchgeführten Messungen und dem Prognosemodell liegen die berechneten Prognosewerte Erschütterungen / Körperschall unterhalb der Richtwerte der Weisung BEKS (Anforderungen hinsichtlich 'Belästigung').**
- **Die Anforderungen an die Behaglichkeit und Wertschöpfung insbesondere in Anlehnung an die SIA 181 werden für Normalanforderungen (Wohnungen) zum Teil nicht eingehalten: Insbesondere der empfohlene Zielwert für abgestrahlten Körperschall wird im Baufeld D überschritten.**
- **Zur Dämmung der Körperschallimmissionen wird für das Baufeld D eine horizontale (elastische) Trennung der Bodenplatte im vorderen Gebäudebereich der Untergeschosse von der Sauberkeitsschicht sowie die vertikale Trennung der Aussenwände gegen die Bahnlinie hin empfohlen. Die Abstimmfrequenz der Lagerung hat auf einen Wert von < 15 Hz zu erfolgen. Der abgestrahlte Körperschallpegel von Bahnvorbeifahrten kann mit dieser Massnahme deutlich reduziert werden.**
- **Empfehlung: Die Decken-Grundeigenfrequenzen für das Baufeld D sind zu überprüfen und - sofern technisch machbar und wirtschaftlich vertretbar – auf eine Grundeigenfrequenz von mind. 25 Hz auszulegen.**
- **Für die gesamte Arealüberbauung wurden keine erhöht erschütterungsempfindlichen Nutzer und/oder Geräte ausgeschieden.**

Zürich, 26.04.2023



P. Fleischer
Dipl. Bauing. ETH/HTL/SIA/MSc Hazards

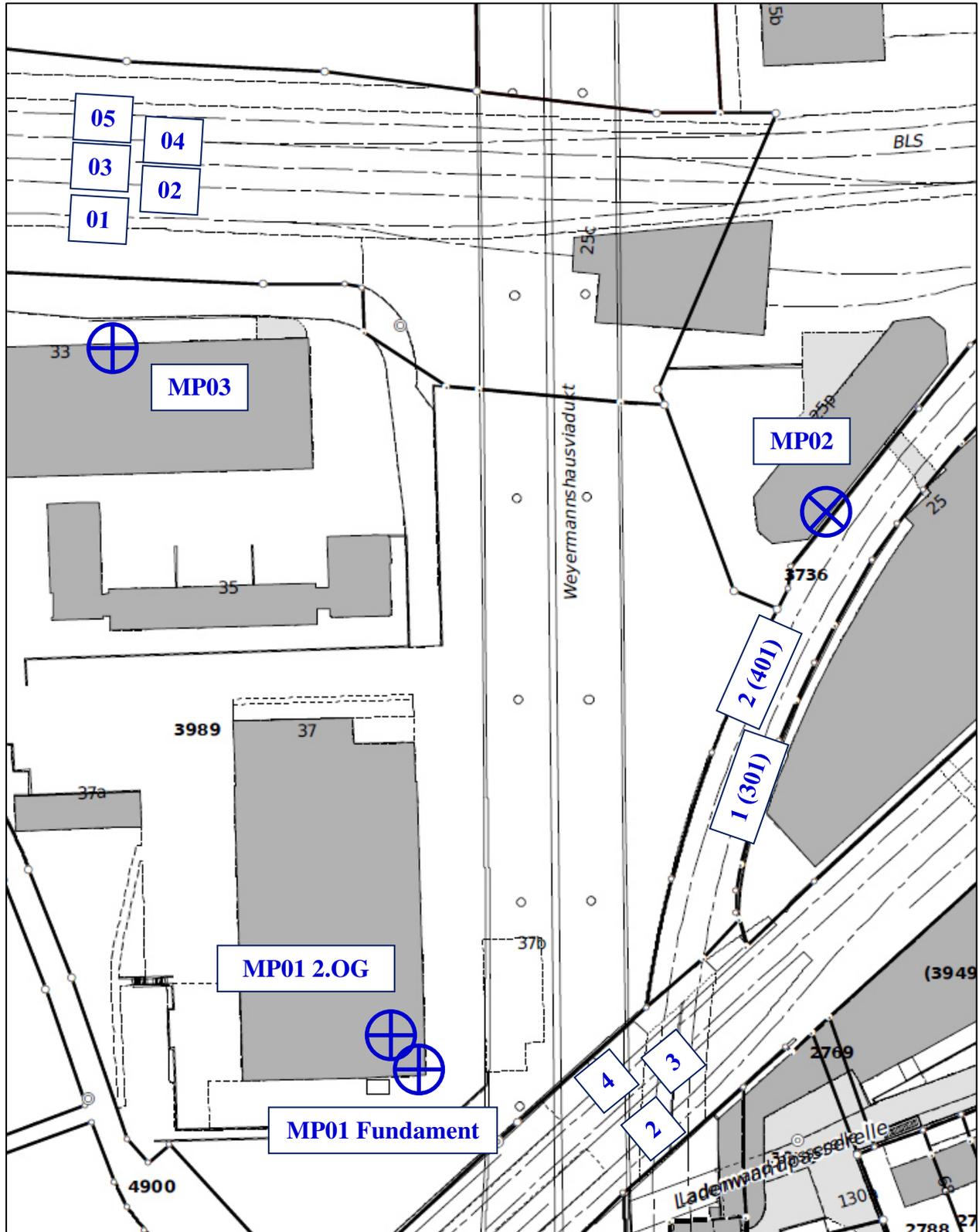
8. BEILAGENVERZEICHNIS

- Beilage 1: Übersicht Messpositionen
- Beilage 2: Fotos
- Beilage 3: Messprotokoll
- Beilage 4: Erschütterungsspektren
- Beilage 5: Kurzbeschreibung Messgeräte
- Beilage 6: Grundlagen / Theorie
- Beilage 7: Prognoseberechnungen

Beilage 1:

Übersicht Messpositionen

Übersicht Messpositionen



Beilage 2:

Fotos

Fotos Messkampagne



Messpunkt MP01



Messpunkt MP02



Messpunkt MP03



Beilage 3:

Messprotokoll

MESSPROTOKOLL VOM 06.04.2023				Name: GS		Seite 1
Zug Nr.	Uhrzeit	Zug Richtung		Gleis Nr.	Zugs- typ	Bemerkungen (Zug, Anz. Wagen, etc.)
		Bern	Fribourg Belp			
1	10:24	x		401	PZ	
2	10:25		x	3	PZ	
3	10:34	x		4	PZ	
4	10:36		x	301	PZ	
5	10:38					Störgeräusche
6	10:38	x		401	PZ	
7	10:39	x		4	PZ	
8	10:45	x		401	PZ	
9	10:45	x		4	PZ	Nicht angehalten
10	10:49		x	301	PZ	
11	10:50	x		401	PZ	
12	10:50		x	3	PZ	
13	10:52	x		4	PZ	
14	10:52		x	301	PZ	
15	10:55	x		401	PZ	
16	10:55		x	3	PZ	Nicht angehalten
17	10:57		x	3	PZ	
18	11:04	x		4	PZ	
19	11:05		x	301	PZ	
20	11:08	x		401	PZ	
21	11:08		x	3	PZ	Nicht angehalten
22	11:08		x	301	PZ	
23	11:09	x		4	PZ	
24	11:12		x	3	PZ	Nicht angehalten
25	11:13		x	2	GZ	
26	11:15	x		401	PZ	
27	11:16		x	301	PZ	
28	11:18		x	4	PZ	
29	11:20		x	301	PZ	
30	11:20	x		401	PZ	
31	11:24	x		401	PZ	
32	11:24		x	3	PZ	
33	11:27	x		4	PZ	
34	11:32		x	3	PZ	
35	11:36		x	301	PZ	
36	11:37	x		4	PZ	
37	11:38		x	3	PZ	Nicht angehalten
38	11:38	x		401	PZ	
39	11:39		x	301	PZ	

MESSPROTOKOLL VOM 06.04.2023				Name: GS		Seite 2
Zug Nr.	Uhrzeit	Zug Richtung		Gleis Nr.	Zugs- typ	Bemerkungen (Zug, Anz. Wagen, etc.)
		Bern	Fribourg Belp			
40	11:40	x		4	PZ	
41	11:45	x		401	PZ	
42	11:45		x	301	PZ	
43	11:46	x		4	PZ	Nicht angehalten
44	11:48		x	3	PZ	
45	11:50	x		401	PZ	
46	11:50		x	301	PZ	
47	11:52	x		4	PZ	Nicht angehalten
48	11:53		x	3	PZ	
49	11:54	x		401	PZ	
50	12:04	x		4	PZ	
51	12:05		x	301	PZ	
52	12:09		x	301	PZ	
53	12:09	x		4	PZ	
54	12:09	x		401	PZ	
55	12:10		x	3	PZ	
56	12:12		x	3	PZ	Nicht angehalten
57	12:14	x		401	PZ	
58	12:16		x	301	PZ	
59	12:19		x	3	PZ	
60	12:20	x		401	PZ	
61	12:22		x	301	PZ	
62	12:22	x		4	PZ	Nicht angehalten
63	12:24	x		401	PZ	
64	12:25		x	3	PZ	
65	12:35		x	301	PZ	
66	12:35	x		4	PZ	
67	12:37		x	3	PZ	Nicht angehalten
68	12:39		x	301	PZ	
69	12:39	x		401	PZ	
70	12:40	x		4	PZ	
71	12:44		x	3	PZ	Nicht angehalten
72	12:45	x		401	PZ	
73	12:46	x		4	PZ	Nicht angehalten
74	12:47		x	301	PZ	
75	12:50		x	3	PZ	
76	12:50	x		401	PZ	
77	12:50		x	301	PZ	
78	12:52	x		4	PZ	

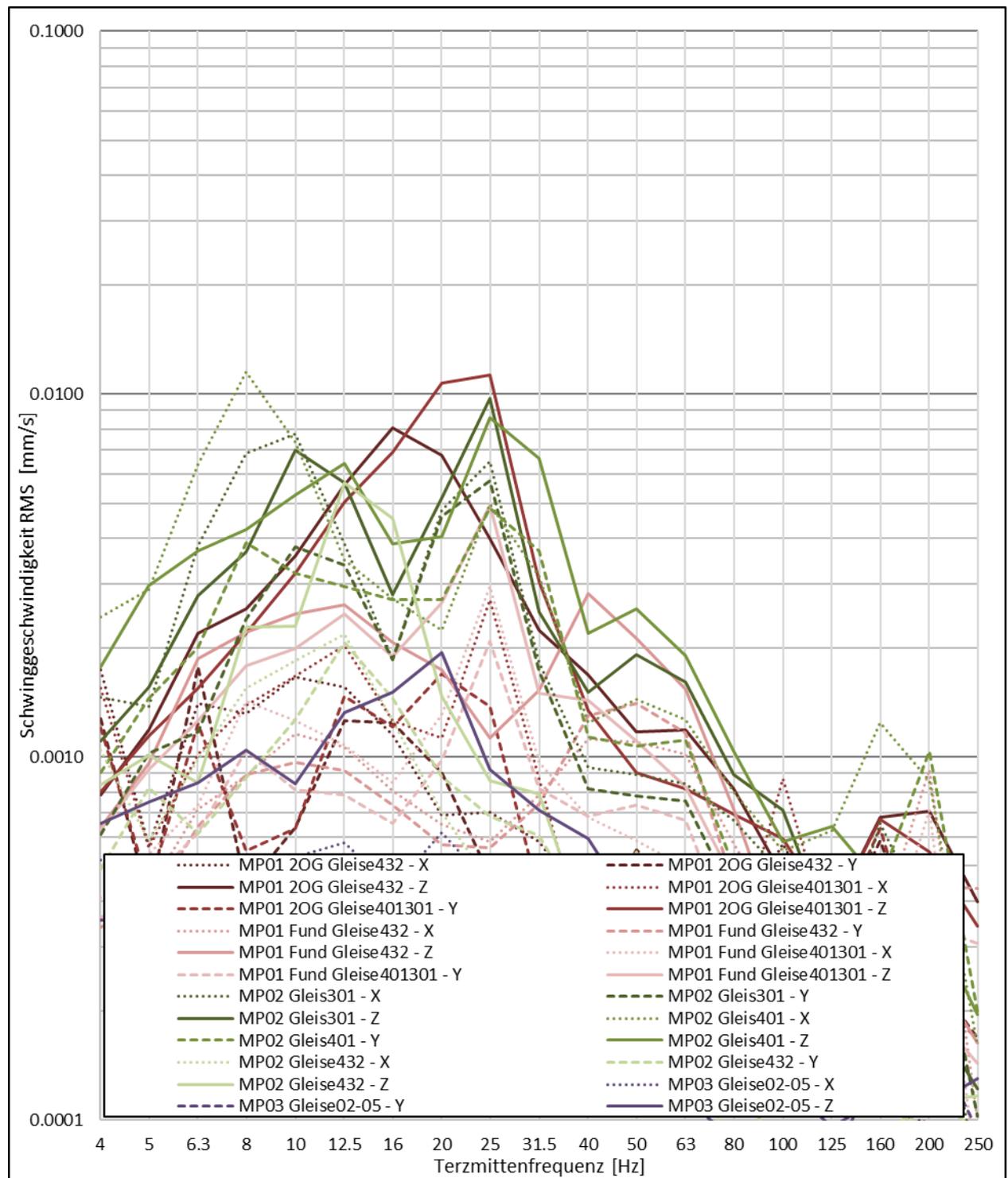
MESSPROTOKOLL VOM 06.04.2023				Name: GS		Seite 3
Zug Nr.	Uhrzeit	Zug Richtung		Gleis Nr.	Zugs- typ	Bemerkungen (Zug, Anz. Wagen, etc.)
		Bern	Fribourg Belp			
79	12:54		x	3	PZ	
80	12:54	x		401	PZ	
81	12:56	x		401	GZ	
82	13:04	x		4	PZ	
83	13:06		x	301	PZ	
84	13:08	x		401	PZ	
85	13:09		x	3	PZ	Nicht angehalten
86	13:09		x	301	PZ	
87	13:09	x		4	PZ	
88	13:11		x	3	PZ	Nicht angehalten
89	13:15	x		401	PZ	
90	13:16		x	301	PZ	
91	13:18		x	3	PZ	
92	13:20		x	301	PZ	
93	13:21	x		401	PZ	
94	13:22	x		4	PZ	Nicht angehalten
95	13:23		x	3	PZ	
96	13:25	x		401	PZ	

MESSPROTOKOLL VOM 06.04.2023		Name: PF / GS			Seite 4	
Zug Nr.	Uhrzeit	Zug Richtung		Gleis Nr.	Zugs- typ	Bemerkungen (Zug, Anz. Wagen, etc.)
		Bern	Kerzers			
1	12:52		x	0'04	PZ	hält an
2	12:57		x	04	PZ	
3	12:58	x		05	PZ	
4	13:11	x		05	PZ	hält an
5	13:12		x	04	PZ	
6	13:15		x	04	GZ	1 Lok
7	13:21	x		05	PZ	hält an
8	13:23		x	04	PZ	
9	13:27		x	3	GZ	Rangierlok
10	13:37	x		05	PZ	hält an
11	13:38		x	04	PZ	
12	13:44		x	02	GZ	
13	13:51	x		05	PZ	
14	13:54		x	04	PZ	
15	13:55	x		05	PZ	
16	13:56	x		02	GZ	
17	13:58		x	04	PZ	
18	14:01	x		05	PZ	
19	14:05	x		05	GZ	
20	14:09	x		05	PZ	
21	14:13		x	04	PZ	
22	14:20	x		05	PZ	
23	14:24		x	04	PZ	

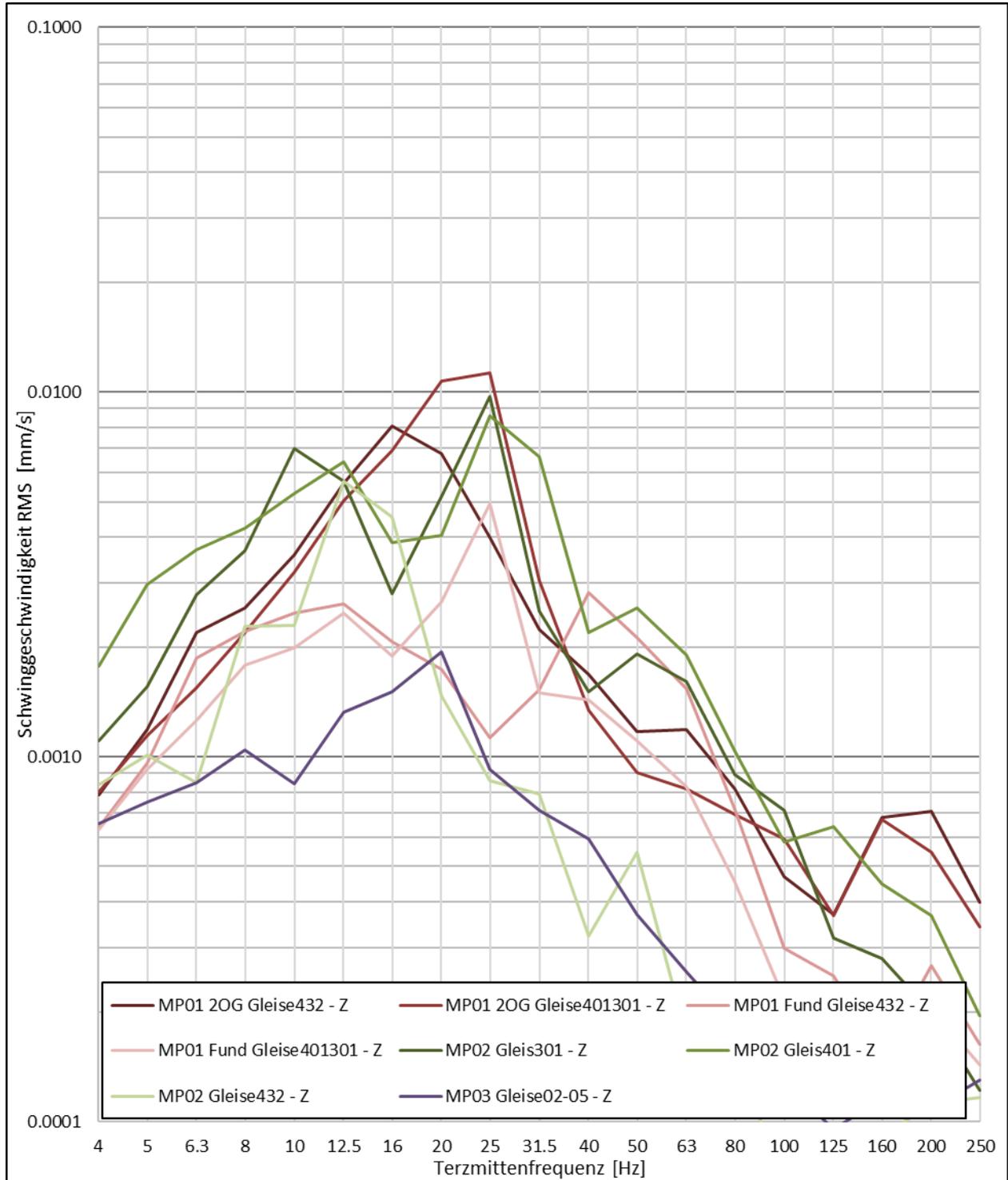
Beilage 4:

Erschütterungs- und Körperschallmessungen: Ausgewählte Terzbandspektren

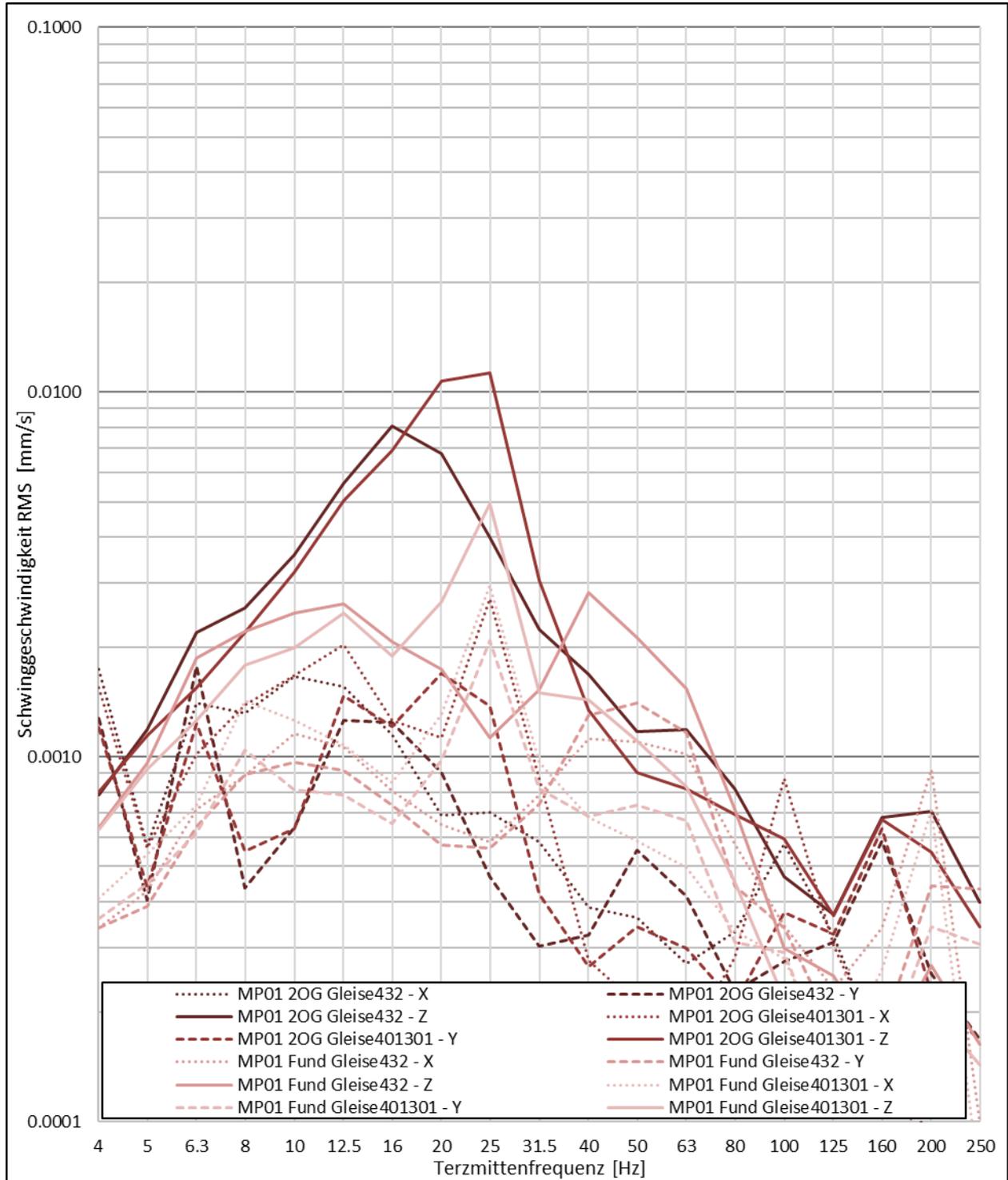
Erschütterungen: Terzbandspektren



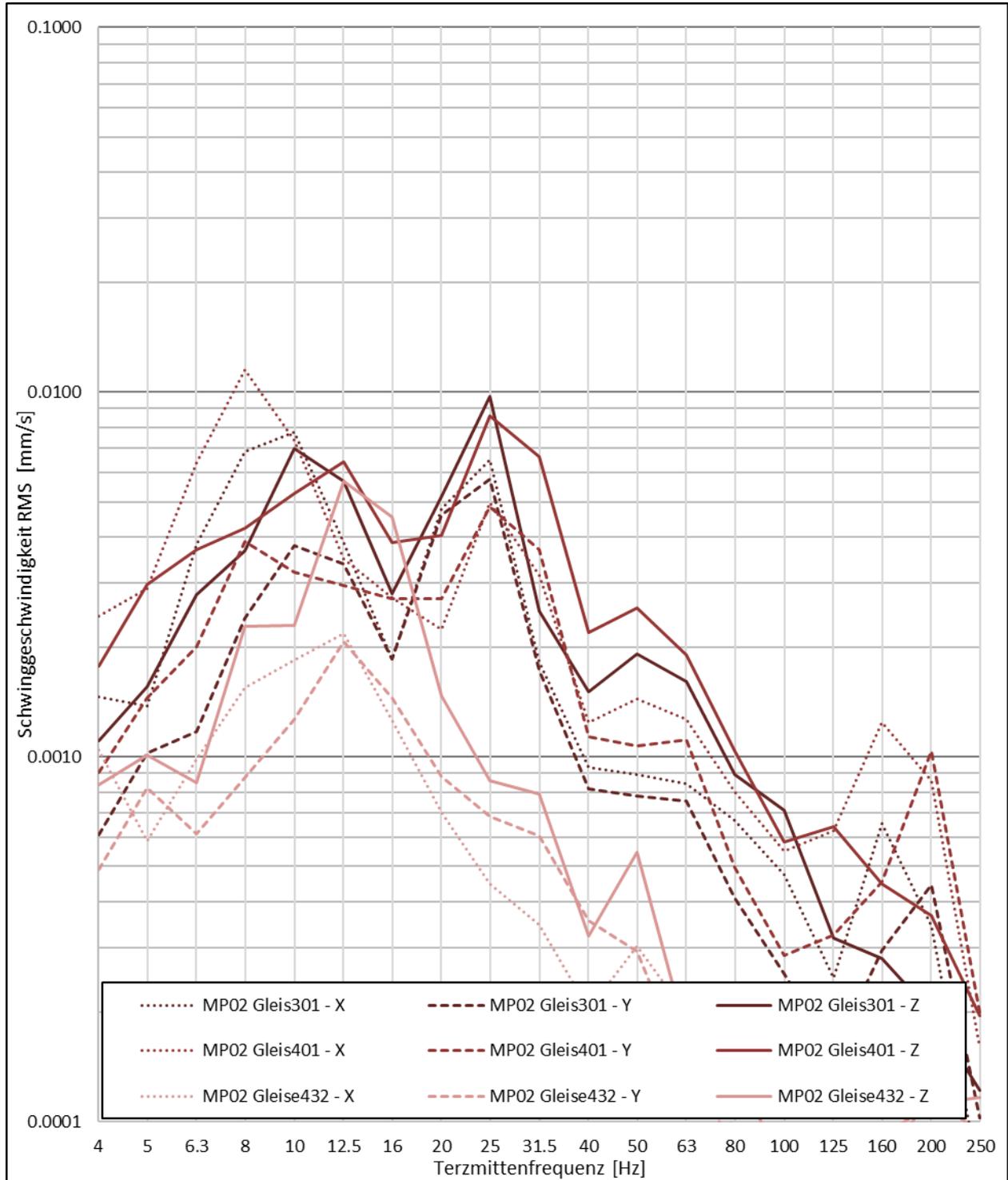
Erschütterungen: Terzbandspektren – Z-Richtung



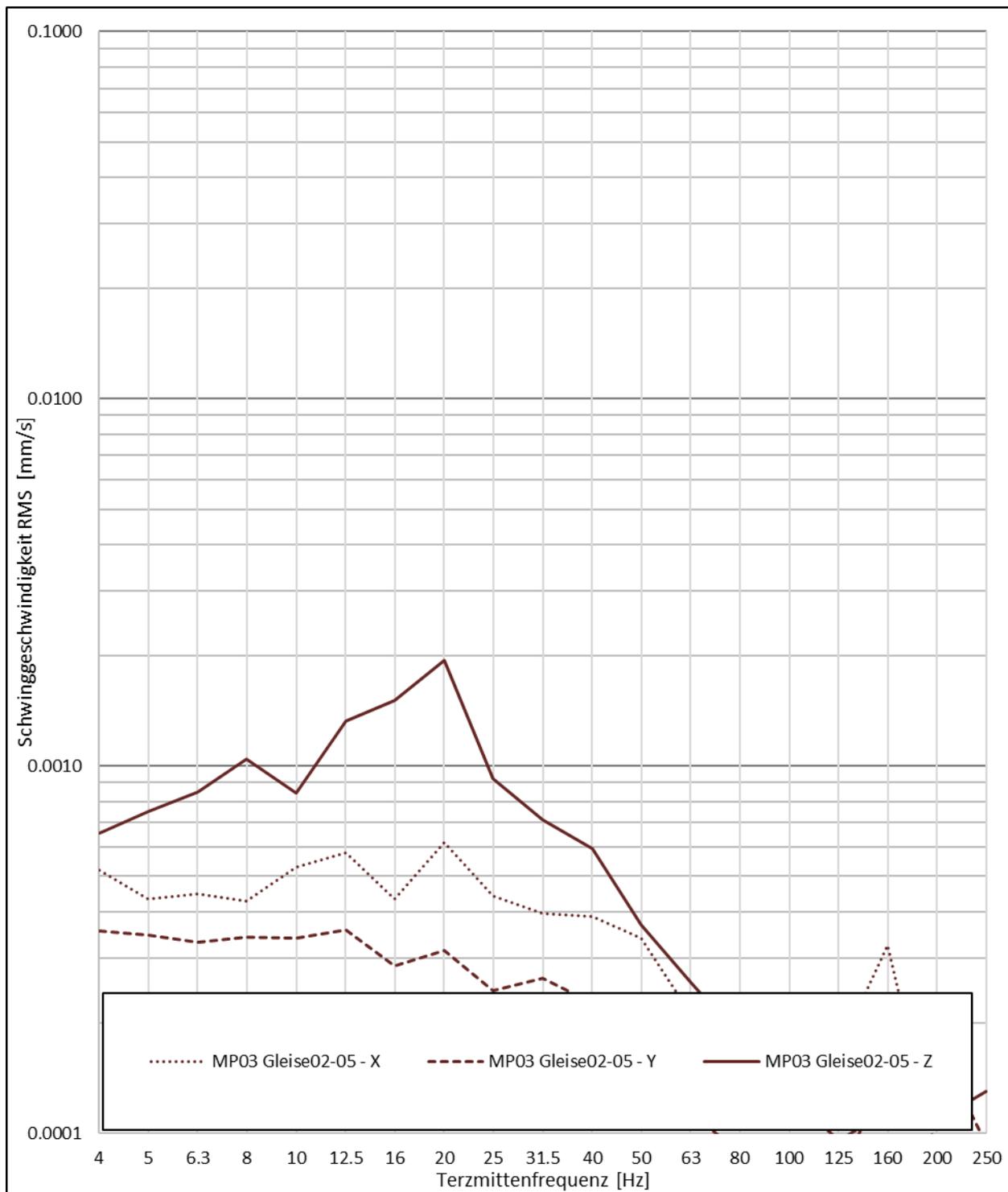
Erschütterungen: Terzbandspektren – MP01



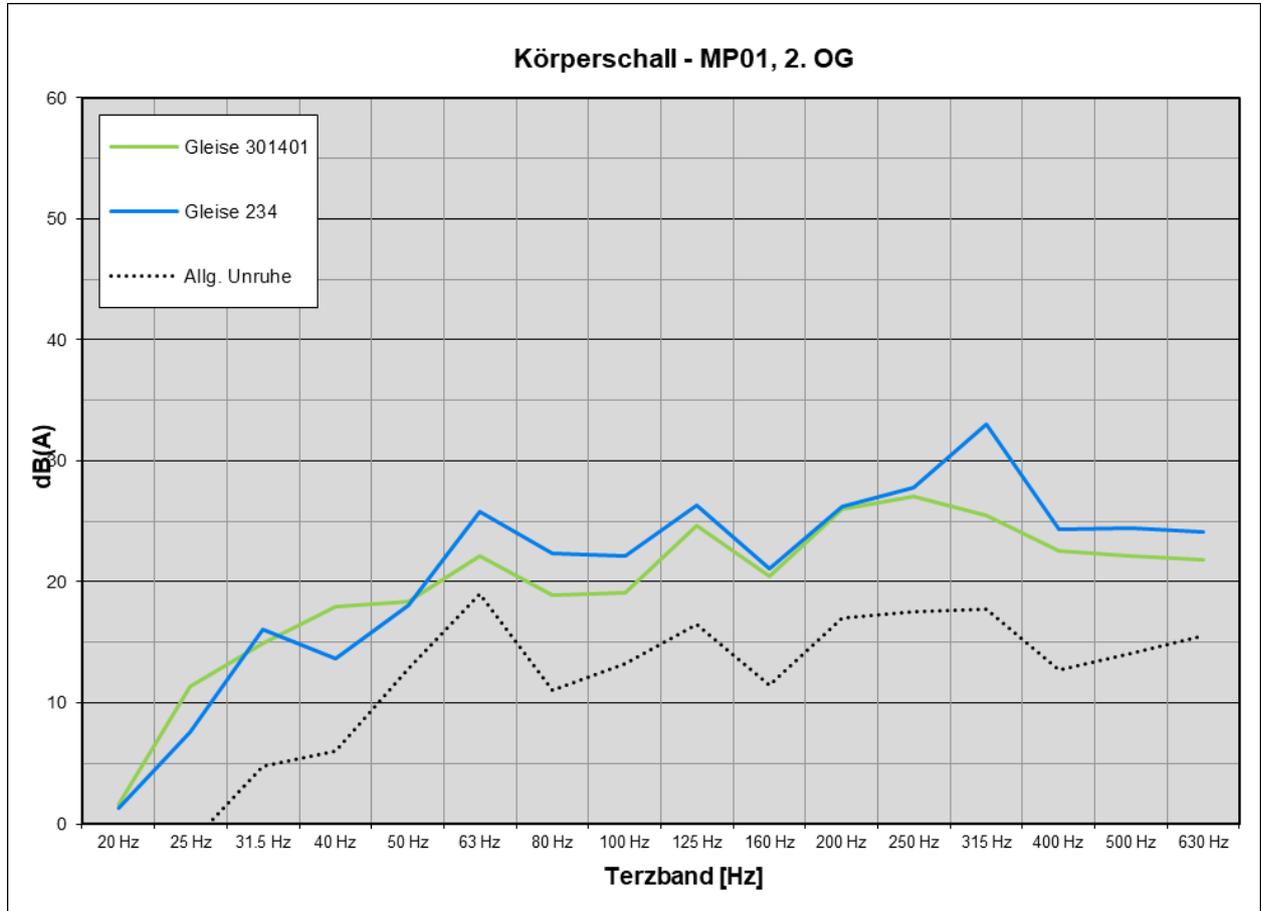
Erschütterungen: Terzbandspektren – MP02



Erschütterungen: Terzbandspektren – MP03



Abgestrahlter Körperschall: Terzbandspektren – MP01



Beilage 5:

Kurzbeschreibung Messgeräte

Messeinrichtung für Erschütterungsmessungen

Normalausrüstung Typ MENCHIR CE, bestehend aus:

- elektronisches Erfassungsgerät mit dreikanaligem Seismometer, zur Messung der drei Schwingungsrichtungen X (horizontal, Kanal 1), Y (horizontal, Kanal 2) und Z (vertikal, Kanal 3):
 - Übertragung Seismometer → Erfassungsgerät: analog
 - Übertragung Erfassungsgerät → Lesestation: digital
- Seismometer mit einer schwinggeschwindigkeits-proportionalen Messspule, zur Erfassung der Schwinggeschwindigkeit in mm/s
- Digitale Speicherung der Messdaten auf SDHC Speicherkarte im Erfassungsgerät und in der Cloud
- Bedienung/Ablesung/Auswertung per PC/Laptop:
 - Integrieren (Schwingweg) / Differenzieren (Schwingbeschleunigung)
 - Mittelwertbildung (verschiedene Zeitkonstanten)
 - Frequenzanalysen (Schmalband / Terzband)
 - statistische Funktionen
 - grafische Auswertungen
 - usw.

Beilage 6:

Grundlagen / Theorie:

- Berechnung der Erschütterungsimmissionen**
- Schallpegel dB(A): Vergleichsgeräusche**

Berechnung der Erschütterungsimmissionen (DIN 4150-2)

Objektspezifische Zusammenfassung (nicht näher bezeichnete Abkürzungen: siehe Norm)

Erschütterungsimmissionen durch Schienenverkehr

Bei der Anwendung der DIN 4150-2 auf Schienenverkehr wird eine Einteilung der Zugsdurchfahrten in **Schichten „j“** empfohlen. Die Schichtung erfolgt so, dass je Gleis und vorkommender Zugsart (Güterzug, Reisezug, ...) eine Schicht gebildet wird. Diese Schichten werden je durch einen **Taktmaximal-Effektivwert** $KB_{FTm,j}$ beschrieben:

$$KB_{FTm,j} = \sqrt{\frac{1}{M_j} \sum_{i=1}^{M_j} KB_{FTi,j}^2}$$

Dabei ist:

M_j die Anzahl der durch die Schicht j während der Beurteilungszeit belegten Takte

Der $KB_{FTm,j}$ -Wert kann als schichttypische Grösse (Mittelwert) angesehen werden: eine typische Zugsdurchfahrt mit einem bestimmten Gleisabstand. Sie sagt aber nichts über die Anzahl der Zugsdurchfahrten aus. Liegt eine bestimmte Anzahl Messungen Z_j vor (mind. 5 Messungen pro Schicht j), so kann er folgenderweise bestimmt werden:

$$KB_{FTm,j} = \sqrt{\frac{1}{Z_j} \sum_{i=1}^{Z_j} KB_{FTi,j}^2}$$

Die **Beurteilungs-Schwingstärke** KB_{FTr} wird alsdann aus diesen Mittelwerten der einzelnen Schichten ($KB_{FTm,j}$) und der Anzahl der während der gesamten Beurteilungszeit in den einzelnen Schichten belegten Takte M_j (Anzahl der in der Beurteilungszeit fahrenden Züge dieser Schicht) nach folgender Gleichung berechnet:

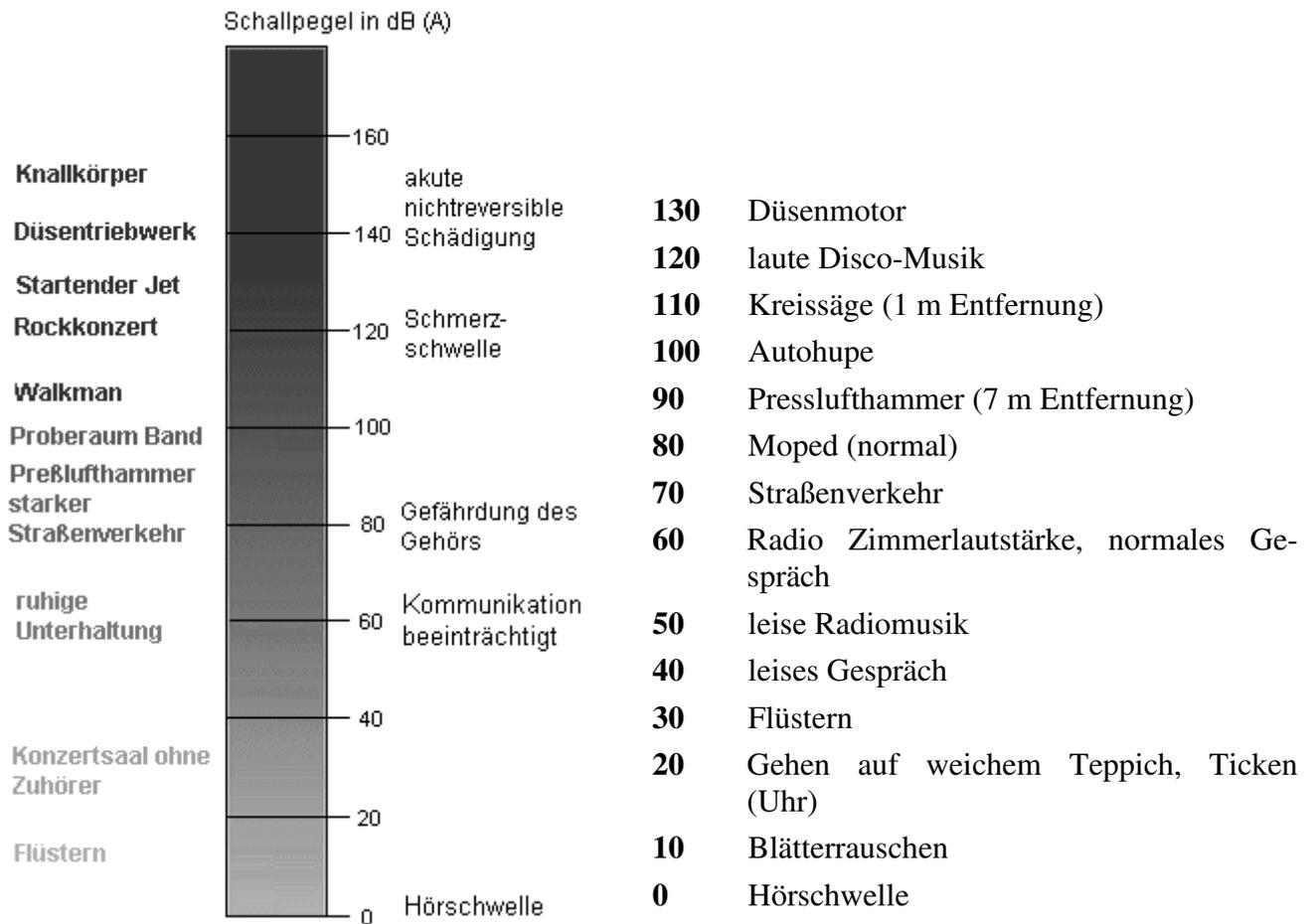
$$KB_{FTr} = \sqrt{\frac{1}{N_r} \sum_{i=1}^L M_j \cdot KB_{FTm,j}^2}$$

Dabei ist:

N_r die Anzahl der Takte im Beurteilungszeitraum (tags: $N_r = 1920$, nachts: $N_r = 960$)

L die Anzahl der unterschiedlichen Schichten

Schallpegel dB(A): Vergleichsgeräusche



Beilage 7:

VIBRA-2 Berechnungen

Gesamtbericht für Projekt: Stöckackerstrasse, Bern - Baufeld A

Zugtypen-Gruppe: TRIAG Nach ES-Norm: DIN 4150/2 Einflussbereich für Weichen: 10 / 50 m
Transferfaktoren-Gruppe: ZC Nach KS-Norm: BEKS

Gleise und Züge

Gleis	Name:	Strecke	Zug-Nr	Zugtyp	Fahrgeschw	Freq tags	Länge tags	Freq nachts	Länge nachts	Freq nachts max	
1	Gleis 01	Linie 220	1	PZ	Stöck MP03, Pz	77	6.9375	171.6216	2.25	155	4.5
1	Gleis 01	Linie 220	2	GZ	Stöck MP03, Gz	68	0.344	200.2122	0.3125	196	0.46875
2	Gleis 02	Linie 220	1	PZ	Stöck MP03, Pz	77	6.9375	171.6216	2.25	155	4.5
2	Gleis 02	Linie 220	2	GZ	Stöck MP03, Gz	68	0.344	200.2122	0.3125	196	0.46875
Summe:							14.56		5.13		9.9

Gebäude, Gleise und Weichen

Gebäude	Name:	Ort	Gleis	Kommentar	Distanz	Ausbreitung	Weiche etc.	Distanz	Boden	Gleisolation	D	VB
1	Baufeld A	Stöckackerstrasse,	1		16	ZC-Modell	NULL	0	NULL	NULL	0	300
			2		20	ZC-Modell	NULL	0	NULL	NULL	0	300

Gebäude und Räume

Gebäude Name	Ort	Ankopplung	Gebäudeisolation	Nr.	Raum	Geschossdecke	KS-Typ	ES-GW-Gruppe und -Zone	KS-GW-Gruppe und -Zone		
1	Baufeld A	Stöckackerstrasse,	NULL	1	Raum 01	DB Decke 12 Hz	ZC 2010	Standard	Z3	PRW	MZ
			NULL	2	Raum 02	DB Decke 16 Hz	ZC 2010	Standard	Z3	PRW	MZ
			NULL	3	Raum 03	DB Decke 20 Hz	ZC 2010	Standard	Z3	PRW	MZ
			NULL	4	Raum 04	DB Decke 25 Hz	ZC 2010	Standard	Z3	PRW	MZ
			NULL	5	Raum 05	DB Decke 32 Hz	ZC 2010	Standard	Z3	PRW	MZ
			NULL	6	Raum 06	DB Decke 40 Hz	ZC 2010	Standard	Z3	PRW	MZ

VIBRA-2: Erschütterungs- und Körperschall-Immissionen

Projekt: Stöckackerstrasse, Bern - Baufeld A

Datum: 17.04.2023

Nach ES-Norm: DIN 4150/2

Nach KS-Norm: BEKS

	Erschütterung		Körperschall		Tag		Nacht		Tag		Nacht		Vorbeifahrtszeit		Tag		Nacht		
	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht	
	KBF-95%	KBFtr	KBF-95%	KBFtr	Leq 95% (1Z): dBA	Leq 95% (1Z): dBA	Leq (16h): dBA	Leq (1h): dBA	Leq 95% (1Z): dBA	Leq 95% (1Z): dBA	Leq (1h): dBA	Leq (1h): dBA	Vbf-max: s	Vbf-mittel: s	Vbf-max: s	Vbf-mittel: s	Vbf-max: s	Vbf-mittel: s	
Baufeld A																			
Raum 01	0.051	0.008	0.051	0.005	30.9	9.5	30.9	7.9	30.9	30.9	13.6	13.6	11.1	11.1	13.4	13.4	10.6	10.6	
Raum 02	0.059	0.010	0.059	0.006	31.0	9.6	31.0	8.0	31.0	31.0	13.6	13.6	11.1	11.1	13.4	13.4	10.6	10.6	
Raum 03	0.065	0.010	0.065	0.006	31.1	9.7	31.1	8.1	31.1	31.1	13.6	13.6	11.1	11.1	13.4	13.4	10.6	10.6	
Raum 04	0.039	0.006	0.039	0.004	31.2	9.8	31.2	8.2	31.2	31.2	13.6	13.6	11.1	11.1	13.4	13.4	10.6	10.6	
Raum 05	0.033	0.005	0.033	0.003	31.5	10.1	31.5	8.5	31.5	31.5	13.6	13.6	11.1	11.1	13.4	13.4	10.6	10.6	
Raum 06	0.031	0.005	0.031	0.003	32.0	10.7	32.0	9.1	32.0	32.0	13.6	13.6	11.1	11.1	13.4	13.4	10.6	10.6	

Gesamtbericht für Projekt: Stöckackerstrasse, Bern - Baufeld C

Zugtypen-Gruppe: TRIAG Nach ES-Norm: DIN 4150/2 Einflussbereich für Weichen: 10 / 50 m
 Transferfaktoren-Gruppe: ZC Nach KS-Norm: BEKS

Gleise und Züge

Gleis	Name:	Strecke	Zug-Nr	Zugtyp	Fahrgeschw	Freq tags	Länge tags	Freq nachts	Länge nachts	Freq nachts max
1	Gleis 4	Linie 250	1	PZ	100.7778	10.125	197.462	2.625	149.5905	5.25
1	Gleis 4	Linie 250	2	GZ	85	0.3135	172.4561	0.5625	234	0.84375
2	Gleis 3	Linie 250	1	PZ	100.7778	10.125	197.462	2.625	149.5905	5.25
2	Gleis 3	Linie 250	2	GZ	85	0.3135	172.4561	0.5625	234	0.84375
3	Gleis 401	Linie 298	1	PZ	54	10.1565	125.3702	2.5625	103.5756	5.125
3	Gleis 401	Linie 298	2	GZ	47	0.1875	68	0.125	68	0.1875
4	Gleis 301	Linie 298	1	PZ	54	10.1565	125.3702	2.5625	103.5756	5.125
4	Gleis 301	Linie 298	2	GZ	47	0.1875	68	0.125	68	0.1875
Summe:						41.56		11.75		22.8

Gebäude, Gleise und Weichen

Gebäude	Name:	Ort	Gleis	Kommentar	Distanz	Ausbreitung	Weiche etc.	Distanz	Boden	Gleisolation	D	VB
4	Baufeld C	Bern	1		18	ZC-Modell	NULL	0	NULL	NULL	0	300
			2		22	ZC-Modell	NULL	0	NULL	NULL	0	300
			3		45	ZC-Modell	NULL	0	NULL	NULL	0	300
			4		49	ZC-Modell	NULL	0	NULL	NULL	0	300

Gebäude und Räume

Gebäude Name	Ort	Ankopplung	Gebäudeisolation	Nr.	Raum	Geschossdecke	KS-Typ	ES-GW-Gruppe und -Zone	KS-GW-Gruppe und -Zone		
4	Baufeld C	Bern	NULL	1	Raum 01	DB Decke 12 Hz	ZC 2010	Standard	Z3	PRW	MZ
			NULL	2	Raum 02	DB Decke 16 Hz	ZC 2010	Standard	Z3	PRW	MZ
			NULL	3	Raum 03	DB Decke 20 Hz	ZC 2010	Standard	Z3	PRW	MZ
			NULL	4	Raum 04	DB Decke 25 Hz	ZC 2010	Standard	Z3	PRW	MZ
			NULL	5	Raum 05	DB Decke 32 Hz	ZC 2010	Standard	Z3	PRW	MZ
			NULL	6	Raum 06	DB Decke 40 Hz	ZC 2010	Standard	Z3	PRW	MZ

VIBRA-2: Erschütterungs- und Körperschall-Immissionen

Projekt: Stöckackerstrasse, Bern - Baufeld C

Datum: 17.04.2023

Nach ES-Norm: DIN 4150/2

Nach KS-Norm: BEKS

	Erschütterung		Körperschall		Vorbeifahrtszeit							
	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht						
	KBF-95%	KBFtr	KBF-95%	KBFtr	Leq 95% (1Z): dBA	Leq (1h): dBA	Vbf-max: s	Vbf-mittel: s	Vbf-max: s	Vbf-mittel: s		
Baufeld C												
Raum 01	0.185	0.027	0.185	0.017	29.5	8.6	29.5	6.6	11.4	10.7	12.9	9.5
Raum 02	0.159	0.021	0.159	0.014	29.7	8.8	29.7	6.8	11.4	10.7	12.9	9.5
Raum 03	0.126	0.016	0.126	0.011	29.9	9.1	29.9	7.1	11.4	10.7	12.9	9.5
Raum 04	0.102	0.014	0.102	0.009	30.3	9.5	30.3	7.5	11.4	10.7	12.9	9.5
Raum 05	0.113	0.013	0.113	0.009	30.9	10.1	30.9	8.1	11.4	10.7	12.9	9.5
Raum 06	0.152	0.015	0.152	0.011	32.4	11.7	32.4	9.6	11.4	10.7	12.9	9.5

Gesamtbericht für Projekt: Stöckackerstrasse, Bern - Baufeld D

Zugtypen-Gruppe: TRIAG Nach ES-Norm: DIN 4150/2 Einflussbereich für Weichen: 10 / 50 m
 Transferfaktoren-Gruppe: ZC Nach KS-Norm: BEKS

Gleise und Züge

Gleis	Name:	Strecke	Zug-Nr	Zugtyp	Fahrtgeschw	Freq tags	Länge tags	Freq nachts	Länge nachts	Freq nachts max
1	Gleis 01	Linie 220	1	PZ	77	6.9375	171.6216	2.25	155	4.5
1	Gleis 01	Linie 220	2	GZ	68	0.344	200.2122	0.3125	196	0.46875
2	Gleis 02	Linie 220	1	PZ	77	6.9375	171.6216	2.25	155	4.5
2	Gleis 02	Linie 220	2	GZ	68	0.344	200.2122	0.3125	196	0.46875
3	Gleis 401	Linie 298	1	PZ	101	10.1565	125.3702	2.5625	103.5756	5.125
3	Gleis 401	Linie 298	2	GZ	85	0.1875	68	0.125	68	0.1875
4	Gleis 301	Linie 298	1	PZ	101	10.1565	125.3702	2.5625	103.5756	5.125
4	Gleis 301	Linie 298	2	GZ	85	0.1875	68	0.125	68	0.1875
Summe:						35.25		10.5		20.6

Gebäude, Gleise und Weichen

Gebäude	Name:	Ort	Gleis	Kommentar	Distanz	Ausbreitung	Weiche etc.	Distanz	Boden	Gleisolation	D	VB
4	Baufeld D	Bern	1		10	ZC-Modell	NULL	0	NULL	NULL	0	300
			2		14	ZC-Modell	NULL	0	NULL	NULL	0	300
			3		10	ZC-Modell	NULL	0	NULL	NULL	0	300
			4		14	ZC-Modell	NULL	0	NULL	NULL	0	300

Gebäude und Räume

Gebäude Name	Ort	Ankopplung	Gebäudeisolation	Nr.	Raum	Geschossdecke	KS-Typ	ES-GW-Gruppe und -Zone	KS-GW-Gruppe und -Zone		
4	Baufeld D	Bern	NULL	1	Raum 01	DB Decke 12 Hz	ZC 2010	Standard	Z3	PRW	MZ
			NULL	2	Raum 02	DB Decke 16 Hz	ZC 2010	Standard	Z3	PRW	MZ
			NULL	3	Raum 03	DB Decke 20 Hz	ZC 2010	Standard	Z3	PRW	MZ
			NULL	4	Raum 04	DB Decke 25 Hz	ZC 2010	Standard	Z3	PRW	MZ
			NULL	5	Raum 05	DB Decke 32 Hz	ZC 2010	Standard	Z3	PRW	MZ
			NULL	6	Raum 06	DB Decke 40 Hz	ZC 2010	Standard	Z3	PRW	MZ

VIBRA-2: Erschütterungs- und Körperschall-Immissionen

Projekt: Stöckackerstrasse, Bern - Baufeld D

Datum: 17.04.2023

Nach ES-Norm: DIN 4150/2

Nach KS-Norm: BEKS

	Erschütterung		Körperschall		Tag		Nacht		Tag		Nacht		Vorbeifahrtszeit		Tag		Nacht		
	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Leq 95% (1Z):	Leq (16h):	Leq 95% (1Z):	Leq (1h):	Vbf-max:	Vbf-mittel:	Vbf-max:	Vbf-mittel:	Vbf-max:	Vbf-mittel:	Vbf-max:	Vbf-mittel:	Vbf-max:	Vbf-mittel:	
	KBFtr	KBF-95%	KBFtr	KBF-95%	dBA	dBA	dBA	dBA	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	
Baufeld D																			
Raum 01	0.286	0.069	0.036	0.286	38.9	17.9	38.9	16.1	13.6	9.0	13.4	9.0	13.4	9.0	13.4	9.0	13.4	8.6	8.6
Raum 02	0.211	0.051	0.027	0.211	39.0	18.0	39.0	16.2	13.6	9.0	13.4	9.0	13.4	9.0	13.4	9.0	13.4	8.6	8.6
Raum 03	0.195	0.047	0.025	0.195	39.0	18.1	39.0	16.3	13.6	9.0	13.4	9.0	13.4	9.0	13.4	9.0	13.4	8.6	8.6
Raum 04	0.246	0.057	0.030	0.246	39.2	18.5	39.2	16.6	13.6	9.0	13.4	9.0	13.4	9.0	13.4	9.0	13.4	8.6	8.6
Raum 05	0.187	0.043	0.022	0.187	39.4	18.9	39.4	17.0	13.6	9.0	13.4	9.0	13.4	9.0	13.4	9.0	13.4	8.6	8.6
Raum 06	0.135	0.032	0.017	0.135	39.9	19.3	39.9	17.4	13.6	9.0	13.4	9.0	13.4	9.0	13.4	9.0	13.4	8.6	8.6