



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

**Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt BAFU und der Allianz
Fahrweg Normalspur, Bern:**

**EFH Wislenstrasse 4, 3075 Rüfenacht,
Pilotprojekt Bodenschlitz-Isolierkörper**

Zusammenfassung Zwischen- und Nachher-Messungen,
Folgerungen

Bericht Nr.: 21.04321.EDS.002.C

Impressum

Auftraggeber

Bundesamtes für Umwelt BAFU, Abteilung Lärm und NIS, 3003 Bern

Das BAFU ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK)

Allianz Fahrweg Normalspur, 3001 Bern, <https://allianz-fahrweg.ch>

Auftragnehmer

Trombik Ingenieure AG, Limmattalstrasse 344, 8049 Zürich

Autor

Dr. Adrian Egger

Datum

Zürich, 19. September 2024 (Rev. C)

Hinweise

Diese Studie wurde im Auftrag des BAFU und der Allianz Fahrweg Normalspur verfasst. Für den Inhalt ist allein der Auftragnehmer verantwortlich.

INHALTSVERZEICHNIS

1.	EINLEITUNG.....	4
1.1.	Problemstellung.....	4
1.2.	Grundlagen	6
2.	ZWISCHEN- UND SCHLUSSMESSUNG	7
2.1.	Messkampagne	7
2.2.	Technische Angaben zu den Messungen und Auswertungen	9
2.3.	Ausgewählte Messresultate Erschütterungen	9
2.4.	Transferspektren Erschütterungen.....	12
2.5.	Terzbandspektren Schallmessung	12
3.	VERGLEICHE UND DISKUSSIONEN	14
3.1.	Dämmleistung des Isolierkörpers	14
3.2.	Sensitivitätsbetrachtungen.....	23
4.	FAZIT	25
6.	ZUSAMMENFASSUNG	30
7.	BEILAGENVERZEICHNIS	32

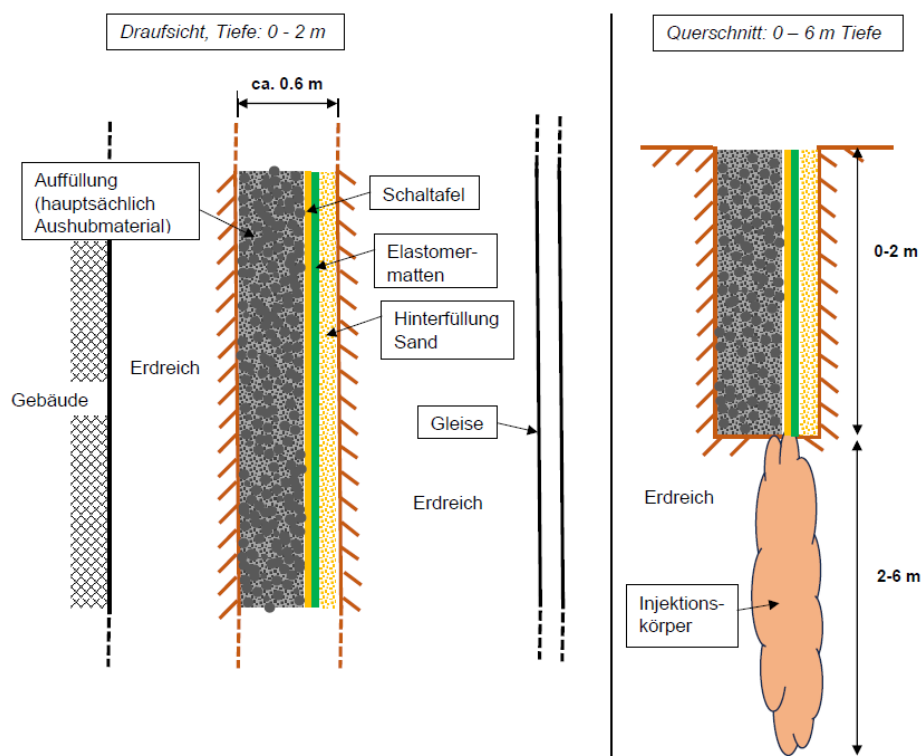
1. EINLEITUNG

1.1. Problemstellung

Das Einfamilienhaus an der Wislenstrasse Nr. 4 in 3075 Rüfenacht liegt an der RBS-Tramlinie Nr. 6 (Bern-Worb). Unter anderem aufgrund einer Weiche und zwei Isolierstössen in der Nähe des Gebäudes sind in diesem Einfamilienhaus Immissionen durch abgestrahlten Körperschall wahrnehmbar. Die Liegenschaftseigentümer haben via BAV diesbezüglich eine Beschwerde eingereicht.

Im Rahmen dieser Beschwerde nahm das BAFU Stellung und empfahl schliesslich, den Schutz des Gebäudes mittels einer seitlichen, elastischen Gebäudelagerung zu prüfen. Im Auftrag des BAFU erstellte die Firma Trombik Ing. AG eine Vorstudie und untersucht darin die technische Machbarkeit einer "seitlichen, elastischen Gebäudeentkopplung" und schätzte deren Kosten. Es zeigte sich, dass diese Schutzmassnahme bei der vorliegenden Liegenschaft zwar technisch machbar wäre, jedoch unverhältnismässig teuer wäre.

Aufgrund dieses Ergebnisses der Vorstudie wurde entschieden, ein Pilotprojekt zu starten und einen kostenoptimierten Bodenschlitz zu realisieren. Die Kostenoptimierung besteht unter anderem darin, nicht einen mehrere Meter tiefen Bodenschlitz zu erstellen, sondern lediglich einen zwei Meter tiefen Bodenschlitz. Mittels einer Kunstharz-Injektion wird eine schwingungsdämpfende Wirkung in der Tiefe angestrebt (rund vier Meter ab Unterkante Bodenschlitz). Der Bodenschlitz wird mit Elastomer-Matten ausgekleidet und wieder mit dem Aushubmaterial und Sand aufgefüllt. Damit wird eine elastische Trennschicht bis in eine Tiefe von sechs Metern erreicht. Fotos der Erstellung der Massnahme sind in **→ Beilage N°2 S.49-52** zu finden.



Draufsicht und Querschnitt Bodenschlitz mit Isolierkörper (nicht massstabsgetreu)

Bereits 2020 wurde im Auftrag des BAFU ein erstes Mal bei einem Gebäude an einem anderen Standort diese Methode zur Realisierung eines günstigen Bodenschlitzes mit Injektion eines Isolierkörpers angewendet. Beim ersten Standort des Pilotprojektes handelte es sich aber um ein Gebäude ohne Untergeschoss neben einer stark frequentierten SBB-Strecke mit erheblichem Personen- und Güterverkehr. Wegen der Flachgründung des Gebäudes entschied man sich bei jenem Standort, den offenen Bodenschlitz nur ca. 1 m tief auszuheben und diesen danach mit dem Kunstharzschaum zu füllen, um sicherzugehen, dass zumindest im obersten Bereich der Oberflächenwelle die Ausdehnung des Isolationskörpers durchgehend und ausreichend breit war. Eine relativ bescheidene Dämmleistung der Massnahme konnte bei jenem Standort sowohl bei den Erschütterungen als auch beim Körperschall festgestellt werden.

Bei diesem zweiten Standort des Pilotprojektes in Rüfenacht sollte mit einer verbesserten Ausführung des obersten Bereiches auch eine bessere Dämmleistung erreicht werden. Die Tiefe des offenen Bodenschlitzes wurde so festgelegt, dass sie in den Bereich des Fundamentes zu liegen kommt, ohne einem Risiko für Fundamentsetzungen ausgesetzt zu sein und sich die Erdarbeiten auch finanziell noch im Rahmen hielten. Vor der Realisierung wurden keine weiteren Bodenuntersuchungen durchgeführt. Der Aufbau des oberen Bereichs war jedoch durch eine frühere Grabung für eine Leitung auf dem Grundstück bekannt. Die laterale Ausdehnung des Bodenschlitzes war auf der einen Seite durch die Grundstücksgrenze beschränkt und auf der anderen Seite durch eine Stützmauer und die Garageneinfahrt.

Es ist vorgesehen, im Rahmen einer zukünftigen Erschütterungsverordnung eine Sanierungspflicht für übermässige Erschütterungs- und Körperschallimmissionen einzuführen. Hierzu sind wirtschaftlich tragbare Schutzmassnahmen nötig. Falls die mit dem Pilotprojekt getestete Bodenschlitz-Isolierkörper-Kombination eine ausreichende Dämmwirkung zeigen würde, so könnte diese relativ kostengünstige Massnahme in Sanierungsfällen eingesetzt werden.

Die Firma Trombik Ingenieure AG wurde vom BAFU beauftragt, in diesem Pilotprojekt mit Erschütterungs- und Körperschallmessungen bei verschiedenen Etappen den Momentan-Zustand an den gleichen Messpunkten wie bei der Messung des Ausgangszustands der Vorstudie der "seitlichen, elastischen Gebäudeentkopplung" zu ermitteln. Dadurch kann der jeweilige Effekt der einzelnen Etappen herausgefunden werden. Die Messungen fanden im Ausgangszustand (Messung 1), mit offenem zwei Meter tiefem Bodenschlitz (Messung 2), nach der Injektion des Isolierkörpers (Messung 3) und nach Verfüllung des Bodenschlitzes mit den Elastomer-Matten und Erd-/Sandmaterial (Messung 4, Endzustand) statt.

Nachdem in einem ersten Schritt nur der Endzustand ausgewertet wurde, konnten in einem zweiten Schritt – Dank der zusätzlichen Beauftragung durch die Allianz Fahrweg Normalspur – auch die Zwischenmessungen der Ausführungsstapen ausgewertet werden, um die Einzeleffekte zu evaluieren. Die Untersuchungsergebnisse und die Ermittlung der Gesamtdämmleistung Nachher zu Vorher sowie der Zwischenmessungen sind im vorliegenden Bericht in Kurzform zusammengefasst. Für weitergehende Betrachtungen stehen die Unterlagen im Büro zur Verfügung.

1.2. Grundlagen

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

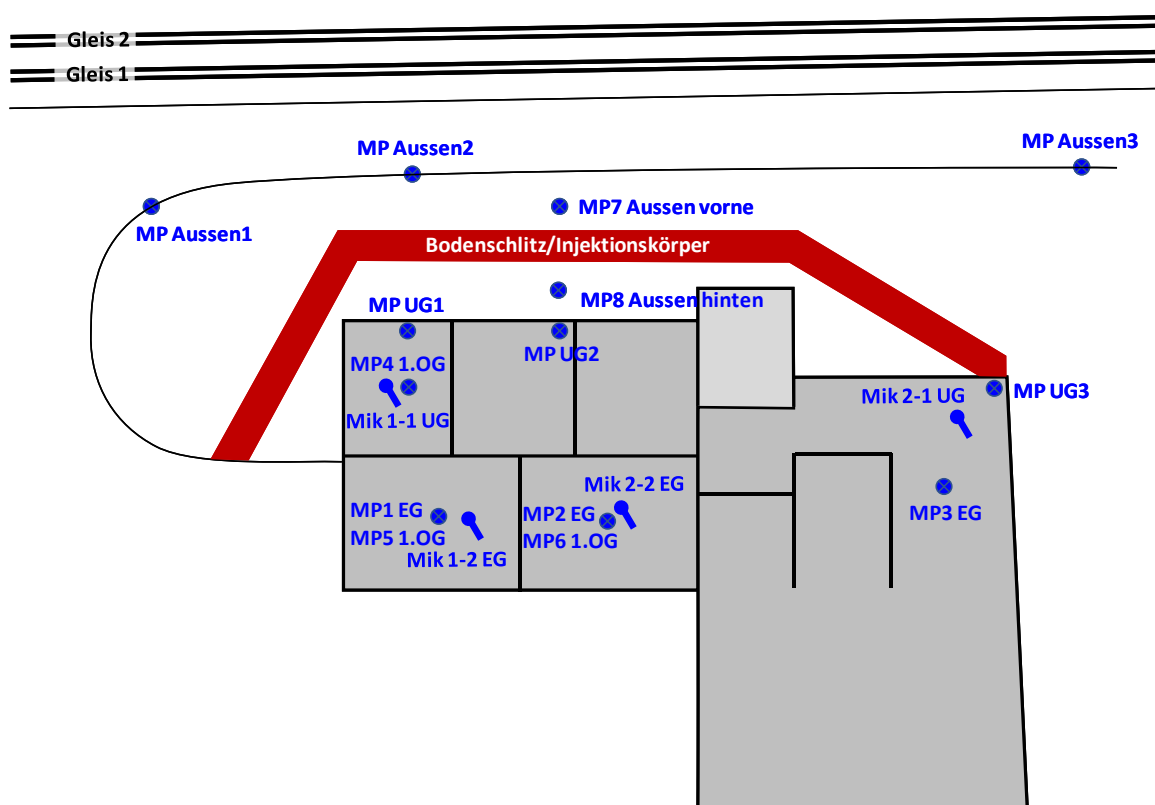
- Trombik Ingenieure AG: Bericht «EFH *Name gelöscht*, 3075 Rüfenacht, Vorstudie zu Pilotprojekt "Seitliche Gebäude-Entkopplung"», 08.12.2021, Dokument Nr. 21.04321.EDS.001.
- Trombik Ingenieure AG: Bericht «Pilotprojekt: Erschütterungs- und Körperschallmessungen zur Analyse der Schutzwirkung eines Isolierkörpers im Boden "», 02.07.2021, Dokument Nr. 20.04201.EDS.001.
- Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK Bundesamt für Umwelt BAFU Sektion UVP und Raumordnung: Regionalverkehr Bern-Solothurn (RBS): Tramlinie 6, Wislenstrasse 4, Rüfenacht, Stellungnahme nach Augenschein, 13.01.2021
- Kompetenzzentrum Fahrbahn AG: Bericht «RBS Rüfenacht, Wislenstrasse 4; Erschütterungen und abgestrahlter Körperschall», 10.08.2020
- Basler & Hofmann AG: Aktennotiz 04953.072-001 «EFH Wislenstrasse 4, Rüfenacht - Erschütterungen und Körperschall, 04.11.2020
- Architektenpläne und -schnitte, Wislenstrasse 4, Stand 1976 und 1988
- Geoportal Kanton Bern, Felsreliefkarte: BSL Baustofflabor AG, Uetendorf: Bohrprofil Wohnhaus Birkenweg 3, 3075 Rüfenacht, 19.09.2018
- Institut für Bau und Umwelt IBU Rapperswil, Hochschule für Technik Rapperswil HSR: Bericht «Massnahmen zur Erschütterungsreduktion in Bezug auf die Abschirmung von Bodenschlitzten», 22. August 2014

2. ZWISCHEN- UND SCHLUSSMESSUNG

2.1. Messkampagne

Die Aufnahme der Erschütterungssituation der Zwischenetappen und des Endzustandes wurde anhand von mehreren Erschütterungsmesspunkten ausserhalb und innerhalb des Gebäudes analog zu den Vorhermessung (siehe Dokument Nr. 21.04321.EDS.001) durchgeführt. Bei der Wahl der Messpunkte wurde darauf geachtet, dass der Effekt der gesamten Massnahme sowie deren Einzelkomponenten innerhalb und ausserhalb des Gebäudes möglichst gut dokumentiert werden kann und die empfindlichsten Räume des Gebäudes bezüglich ihrer Nutzung gewählt wurden. Gegenüber der Vorhermessung kamen zwei Messpunkte direkt vor und hinter dem Bodenschlitz hinzu. Es wurde an 5 Aussenmesspunkten und 6 Messpunkten in Zimmern die Vertikalkomponente der Schwingungen und triaxial am Fundament an 3 Messpunkten parallel gemessen. In je zwei Zimmern im UG und EG wurde zusätzlich mit Mikrofonen der abgestrahlte Körperschall gemessen. Messpunkte Aussen 1 bis 3 dienten als Referenz (u.a. für die Beurteilung der Veränderung der Schwingungen am Gleistrasse).

Messpunktanordnung (siehe auch *Beilage N°2 ab S.39*):



- MP Aussen1-3: Aussenmesspunkte Vertikalkomponente. am Strassenrand.
- MP UG 1: Fundamentmesspunkt triaxial in Waschküche bei der Aussenwand gegen die Bahn mit Messung des Körperschalls etwa in der Mitte des Raums (Mik 1-1).
- MP UG 2: Fundamentmesspunkt triaxial im Heizraum unter der Treppe bei der Aussenwand gegen die Bahn.

- MP UG 3: Fundamentmesspunkt triaxial im Gästezimmer bei der Aussenwand gegen die Bahn mit Messung des Körperschalls im vorderen Bereich des Zimmers (Mik 2-1).
- MP 1: Messpunkt Mitte Elternschlafzimmer im EG des Gebäudes mit Messung des Körperschalls etwa in der Mitte des Zimmers (Mik 1-2).
- MP 2: Messpunkt Mitte Kinderzimmer im EG des Gebäudes mit Messung des Körperschalls etwa in der Mitte des Zimmers (Mik 2-2).
- MP 3: Messpunkt Mitte Esszimmer im EG im Anbau des Gebäudes.
- MP 4: Messpunkt Mitte Bürozimmer im 1.OG des Gebäudes.
- MP 5: Messpunkt Mitte Kinderzimmer West im 1.OG des Gebäudes.
- MP 6: Messpunkt Mitte Kinderzimmer Ost im 1.OG des Gebäudes.
- MP 7: Aussenmesspunkt Vertikalkomponente direkt vor dem Bodenschlitz (Bahnseite).
- MP 8: Aussenmesspunkt Vertikalkomponente direkt hinter dem Bodenschlitz (Gebäudeseite).

Die Vorhermessung wurde bereits am 12. November 2021 durchgeführt. Bis zur Realisierung des Pilotprojektes mit dem Isolierkörper im Boden dauerte es über ein Jahr. Die Messkampagnen zur Erfassung der Schwinggeschwindigkeiten [mm/s] der Etappe «offener Bodenschlitz» fand am 6. Januar 2023 statt, diejenige der Etappe «Injektionskörper» am 13. Januar 2023 und diejenige der Abschlussmessung am 29. März 2023. Am Messort wurden während je einer Beobachtungsdauer von ca. 2 Stunden jeweils total 25-30 Tramvorbeifahrten teils mittels manueller und teils mittels Trigger Messauslösung erfasst. Siehe Messprotokolle der Zwischenmessungen und der Abschlussmessung in → **Beilage N°1, S.35-37**, Fotos der Messpunkte der Abschlussmessung finden sich in → **Beilage N°2, ab S.39**. Die Sensoren für die Zwischenmessungen befanden sich bis in den Zentimeterbereich an den gleichen Positionen.

Auf der Bahnstrecke verkehren zwei Tramtypen:

- Schindler Tram 2000 (SWP/BBC) Be 4/10, 39'800 mm Länge, 46,3 t Leergewicht



- Siemens Combino Advanced VL Be 6/8, 41'290 mm Länge, 49,1 t Leergewicht



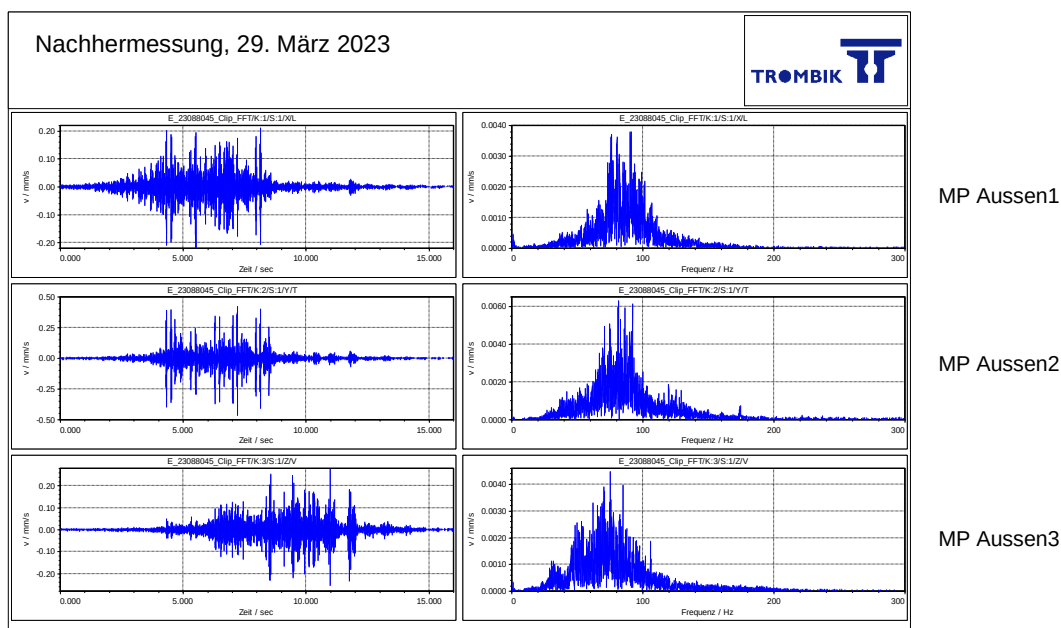
75% der Fahrten wurden mit dem blauen Schindler Tram durchgeführt, ausser bei der Abschlussmessung, bei der 100% Schindler Trams fuhren.

2.2. Technische Angaben zu den Messungen und Auswertungen

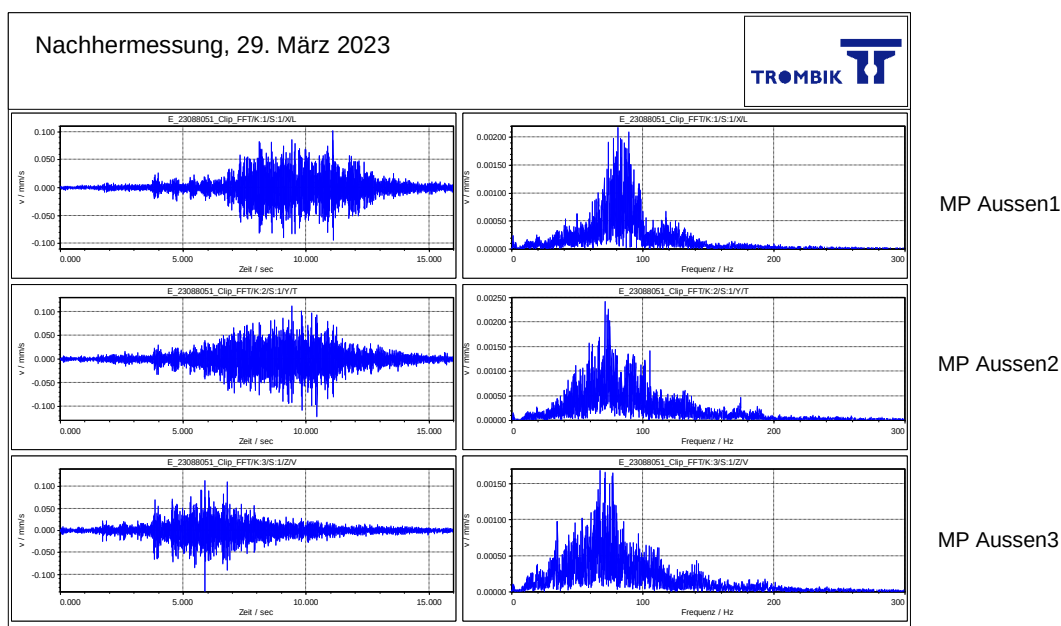
Die Messungen und Resultatauswertungen fanden mit Hilfe von hochwertigen Messgeräten und unter Beachtung der gängigen Verfahren statt. Eine Liste des verwendeten Geräteparks findet sich in → **Beilage N°21, S.171-172**. Es wurden für alle vier Messungen die gleichen Messgeräte verwendet.

2.3. Ausgewählte Messresultate Erschütterungen

Nachfolgend typische Messaufzeichnungen von zwei Tramfahrten auf Gleis 1 und 2:



Zeitverlauf und Schmalbandspektren MP Aussen 1-3, z-Komp. für Tram um 14:04 Uhr auf Gleis 1



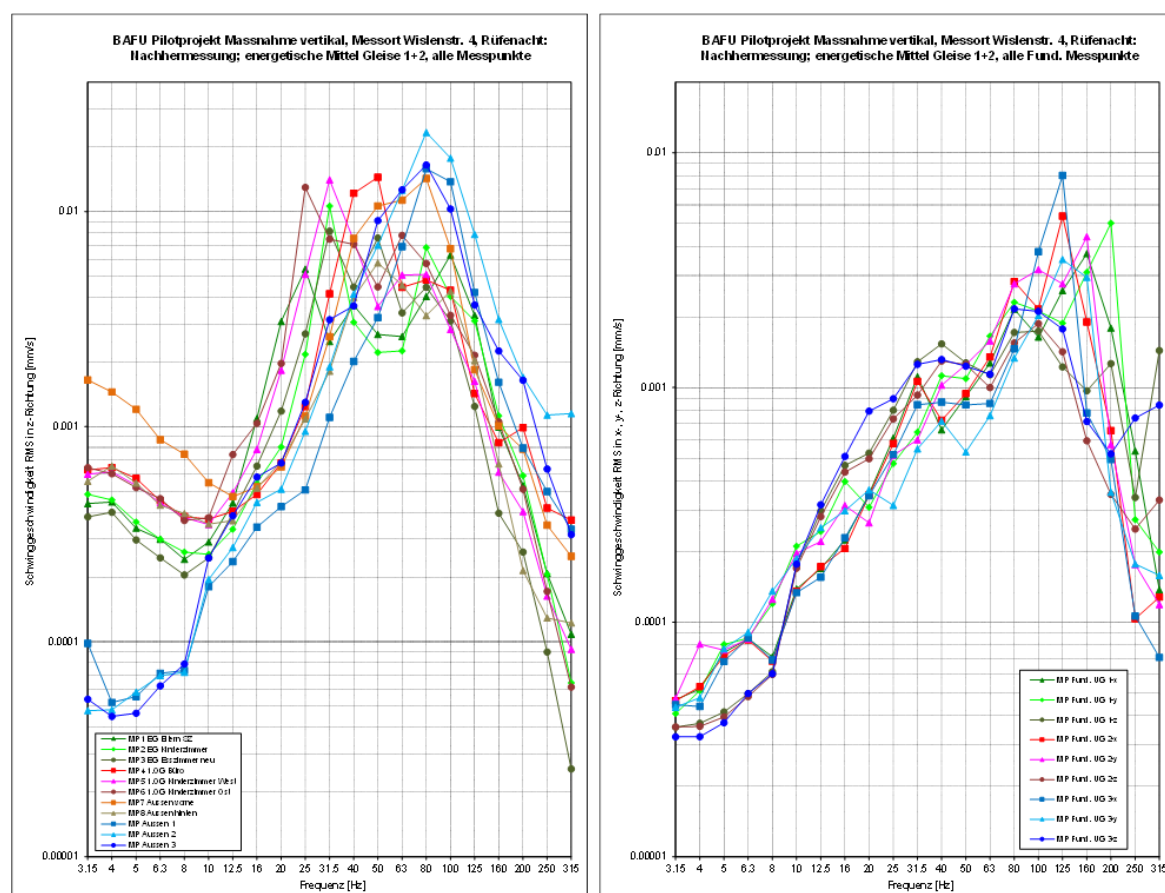
Zeitverlauf und Schmalbandspektren MP Aussen 1-3, z-Komp. für Tram um 14:24 Uhr auf Gleis 2

Die Zeitverläufe und Schmalbandspektren an allen Gebäudemesspunkten der beiden Tramvorbeifahrten von 14:04 Uhr und 14:24 Uhr auf Gleis 1 und Gleis 2 der Nachhermessung sind in → **Beilage N°4, ab S.59** dargestellt.

Da für die Beurteilung der Immissionen die KB-Werte gemäss DIN 4150-2 benötigt werden, wurden die KB-Werte der 16 ausgewerteten Tramvorbeifahrten in → **Beilage N°3, S.54-57** für die Vorhermessung, die Zwischenmessungen und die Abschlussmessung zusammengestellt.

Im Weiteren wurden die Zeitverläufe frequenzanalysiert und entsprechend gemittelt. Die Datenfülle ist aufgrund der zahlreichen Messpunkte und mehrerer Messungen sehr gross. Für die interessierte Leserschaft sind die ausgewerteten Daten weitgehend in den Beilagen dokumentiert. Im Text kann jedoch nicht auf jedes Diagramm eingegangen werden. Im Kapitel 3 werden generelle Vergleiche angestellt und die Ergebnisse diskutiert.

Die ermittelten Terzbandspektren sind in → **Beilage N°5, ab S.65** wiedergegeben, für die Zwischenmessungen in → **Beilagen N°5.1, S.66-73 und N°5.2, S.74-81** und die Abschlussmessung in → **Beilage N°5.3, S.82-89**.



Abschlussmessung: Energetische Mittelungsspektren aller Messpunkte Aussen und im Gebäude

Die Spektren der Trams sind im Aussenraum relativ hochfrequent mit einem Maximum der Schwingungsenergie um 80-100 Hz wie bereits in der Messung des Ausgangszustandes bemerkt. Üblicherweise liegt das Maximum eher unter 80 Hz mit deutlich mehr Schwingungs-

energie im tieffrequenten Bereich. Das deutet auf einen relativ steifen Untergrund hin. Das Bohrprofil einer Bohrung beim Nachbargrundstück am Birkenweg 3 zeigt in den obersten 26 m kiesig, sandige eiszeitliche Moränenablagerungen. Der Felshorizont mit Sandstein ist erst in 26 m Tiefe vorhanden, ansteigend gegen Nordosten.

Die Tramfahrten auf Gleis 1 bzw. auf Gleis 2 zeigen bei allen Messpunkten erwartungsgemäss nicht viel Unterschied (nur blaue Trams bei der Schlussmessung). Obwohl vor dem Gebäude bei beiden Gleisen ein Isolierstoss vorhanden ist, ist zwischen 80 und 125 Hz wahrscheinlich wegen unterschiedlich starker Stossauswirkung ein deutlicher Unterschied zwischen Gleis 1 und Gleis 2 bei der Überfahrt des Isolierstosses zu erkennen (siehe z.B. das Terzbandspektrum des MP Aussen 2 direkt neben den Schienenstössen in → **Beilage N°5.1, S.66**). Die Schwingungsamplitude in diesem Frequenzbereich ist für Gleis 1 rund dreimal höher als für Gleis 2 (sehr ähnlich den Spektren der Messung des Ausgangszustandes und der weiteren Messungen). Bei den Gebäudemesspunkten, die weiter von den Isolierstössen entfernt sind, fällt der spektrale Unterschied zwischen den beiden Gleisen kaum mehr auf.

Der Einfluss der Weiche (Herzstück) kann vor allem in den Zeitverläufen der Vorbeifahrten erkannt werden (→ **Beilage N°4, S.58**). In den Terzbandspektren verteilt sich deren Einfluss über einen breiteren Frequenzbereich und fällt deshalb in den Spektren nicht speziell auf. Ein Plan mit den Standorten der beiden Isolierstösse und der Weiche findet sich in Kapitel 4.

In den Zimmern des Gebäudes dominiert die Schwingungsenergie im Frequenzbereich der Deckenresonanz, die deutlich tiefer liegen als das Anregungsmaximum im Freien. Die Deckeneigenfrequenzen f_0 der Betondecken in den gemessenen Räumen des Gebäudes betragen (keine Änderung gegenüber der Messung des Ausgangszustandes):

EG Schlafzimmer Eltern:	21.5 Hz
EG Kinderzimmer:	30 Hz
EG Esszimmer im Anbau:	31 und 50 Hz (mit Fersenhub nicht klar anregbar)
1.OG Bürozimmer:	43 Hz (mit Fersenhub schwer anzuregen)
1.OG Kinderzimmer West:	28 Hz
1.OG Kinderzimmer Ost:	25.5 Hz

Bemerkung:

Fast jede Vorbeifahrt der blauen Schindler Trams produzierte elektromagnetische Störimpulse, die die Funkübertragung des Meda-Messgerätes beeinflusste (Gebäudemesspunkte MP1-MP8). Die Störimpulse machen sich in den Zeitsignalen der Schwinggeschwindigkeit (Bsp. in → **Beilage N°4, S.64**) und vor allen in den Terzbandspektren unterhalb 20 Hz bemerkbar (beispielsweise in → **Beilage N°5.1, S.71**). Das hat jedoch keinen Einfluss auf die Interpretation der Dämmleistung der Massnahme, da diese Spektralanteile bei der Mittelung eliminiert werden können. Tramfahrten mit grossen Amplituden der Störimpulse haben aber auch Einfluss auf die Ermittlung der KB_{FTI} -Werte, welche dem Maximum der bewerteten Schwingstärke einer Vorbeifahrt entsprechen. Die notwendigen Korrekturen wegen der Störimpulse wurden bei der Vorhermessung nicht in der entsprechenden Tabelle der Auswertung der Erschütterungen (Beilage 3, Bericht Vorhermessung) eingetragen. Die nun korrigierten Werte sind in der Tabelle in → **Beilage N°3, S.54** berücksichtigt.

In den Darstellungen der Terzbandspektren der horizontalen Komponenten am Fundament im UG, z.B. in → **Beilage N°5.1, S.67-69** erkennt man jeweils ein deutliches Maximum bei 125 Hz oder höherer Frequenz. Diese Spitze hat jedoch nichts mit der Schwingung des

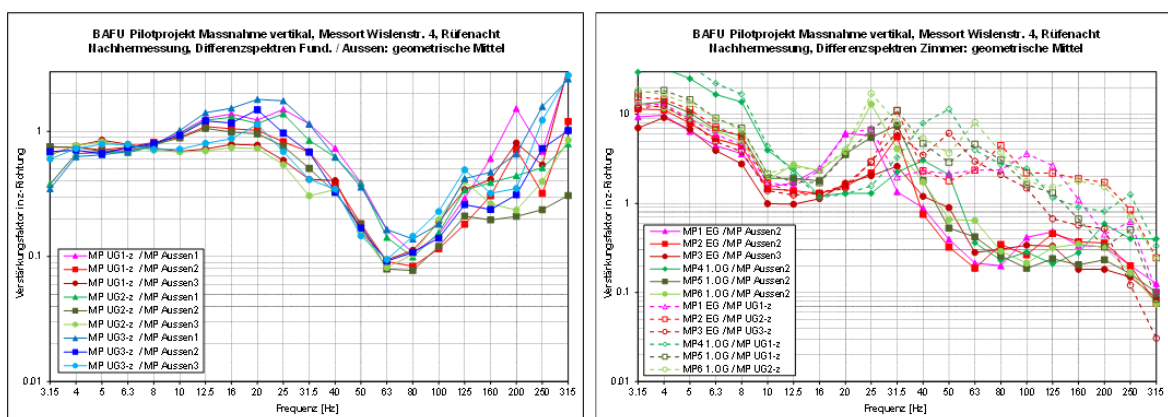
Gebäudes in horizontaler Richtung zu tun, sondern mit dem Messgerät selbst, das bei der Aufstellung auf den Gerätefüssen bei diesen Frequenzen eine Resonanz zeigt. Dieses Verhalten der Geräte wurde in Testmessungen im Büro von Trombik Ing. bereits nach der Messung des Ausgangszustandes analysiert. Bei den weiteren Messungen wurde zum besseren Vergleich die gleiche Aufstellung gewählt.

Insgesamt sind die gemessenen Erschütterungen sehr gering - wie bereits bei der Messung des Ausgangszustandes - und erreichen im Gebäude nur ausnahmsweise einen KB-Wert grösser als 0.1, der auch etwa der Fühlschwelle entspricht.

2.4. Transferspektren Erschütterungen

Die Messung im UG an den drei Standorten zeigt sowohl für die Zwischenmessungen als auch für die Abschlussmessung bei der Differenzbildung der Vertikalkomponente zu den Aussenmesspunkten an der Strasse (vor der Massnahme) praktisch das identische Bild des Transferspektrums (**→ Beilagen N°6.1, S.92; N°6.2, S.94; N°6.3, S.96 oben**) wie bei der Messung des Ausgangszustandes, obwohl jetzt die Massnahme im Boden zur Reduktion der Schwingungen vorhanden ist und sich bei den Zwischenmessungen ein offener Bodenschlitz im Ausbreitungsweg befand. Eine detaillierte Analyse der Unterschiede «Nachher» zu «Vorher» sowie der Zwischenmessungen erfolgt im Kapitel 3.

Die Transferspektren vom Fundament oder von den Aussenmesspunkten Aussen 1 – Aussen 3 zu den Zimmern aller Folgemessungen in den **→ Beilage N°6.1, S.92; N°6.2, S.94; N°6.3, S.96 unten** zeigen gegenüber denjenigen der Ausgangsmessung nur minimale Unterschiede. Das lässt auf einen minimalen Einfluss der Massnahme und deren Zwischenstufen schliessen.



Abschlussmessung: Geom. Mittel der Übertragungsspektren, MP Aussen zu Fundament-MP, bzw. MP Aussen u. Fundament zu Gebäude-MP

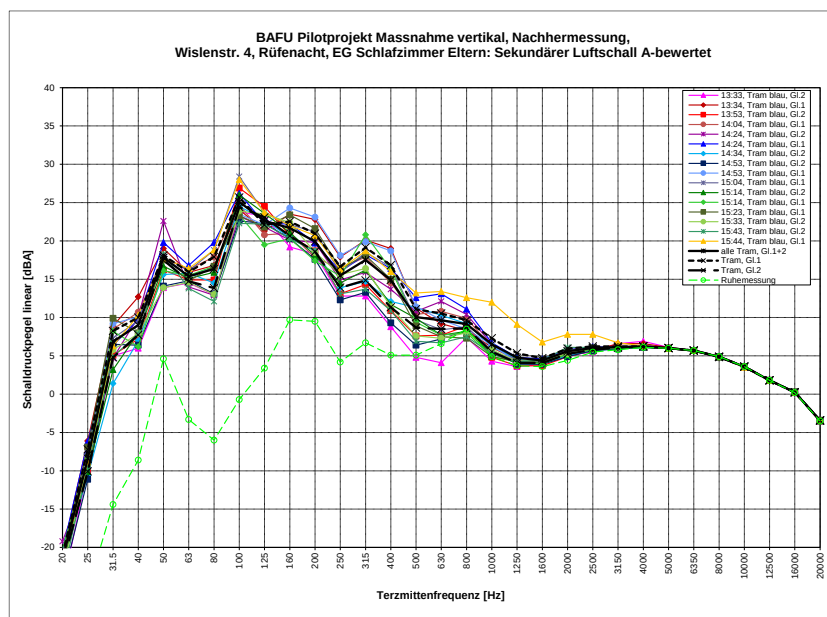
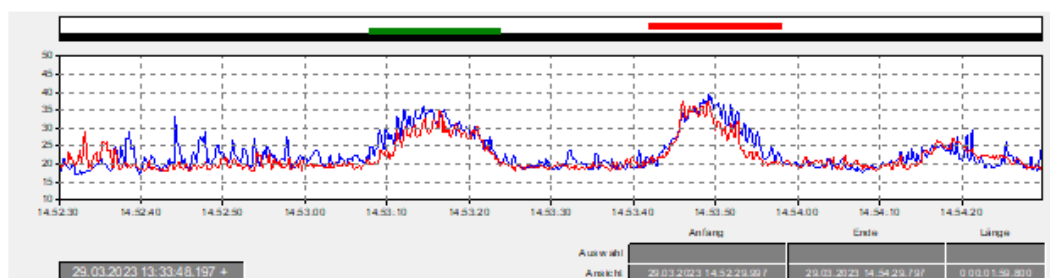
2.5. Terzbandspektren Schallmessung

Von den 16 Tramvorbeifahrten, deren Erschütterungsaufzeichnungen ausgewertet wurden, sind auch für die Zwischenmessungen und die Abschlussmessung über die jeweils gleichen Zeitfenster die Schallregistrierungen im UG Waschküche, UG Gästezimmer, EG Schlafzim-

mer und EG Kinderzimmer als Vorbeifahrtspegel LA_{eq} und A-bewerteten Terzbandspektren gleich wie bei der Ausgangsmessung abgeleitet worden.

Die Zimmer im EG befinden sich im hinteren Teil des Hauses und sind mit nur einem Fenster auf der bahnabgewandten Seite gut gegen den störenden Direktschall abgeschirmt. In den beiden Räumen im UG ist die Störung durch Direktschall noch geringer.

Die Zusammenstellung der Vorbeifahrtspegel LA_{eq} der Schallmessungen der Zwischenmessungen und der Nachhermessung ist in **→ Beilage N°7, S.98-100** zu finden. Die Grafiken der Terzbandspektren sind in **→ Beilage N°9, S.106-111** dargestellt. Das ebenfalls dargestellte Mittelungsspektrum ist über alle 16 Tramfahrten, jedoch ohne Ausreisser, berechnet worden. Während der 2. Messung war die hauseigene Wärmepumpe zeitweise in Betrieb, was zu Störungen ab 400 Hz führte (**→ Beilage N°9.1, S.106**). Für die Mittelung wurden diese Frequenzanteile der betroffenen Fahrten nicht berücksichtigt. Bei allen Messungen liegt das Pegelmaximum für die Waschküche im UG bei 200 Hz. Hingegen liegt das Pegelmaximum im Gästezimmer und in den Zimmern im EG bei 100 Hz. Die Schallpegel der einzelnen Vorbeifahrten LA_{eq} liegen in den gemessenen Schlafzimmern um die 29 dBA bis 30 dBA und die Maxima LA_{Fmax} der Vorbeifahrten alle unterhalb 40 dBA. Die Schläge bei der Überfahrt über das Weichenherzstück erzeugen meistens die höchsten Schallpegelspitzen einer Vorbeifahrt (siehe Beispiele in **→ Beilage N°8, S.104**).



Abschlussmessung: Schallpegel-Zeitverlauf zweier Tramfahrten gemessen im UG und EG (oben) sowie Terzbandspektren der Tramfahrten beim Messpunkt EG Schlafzimmer Eltern (unten)

3. VERGLEICHE UND DISKUSSIONEN

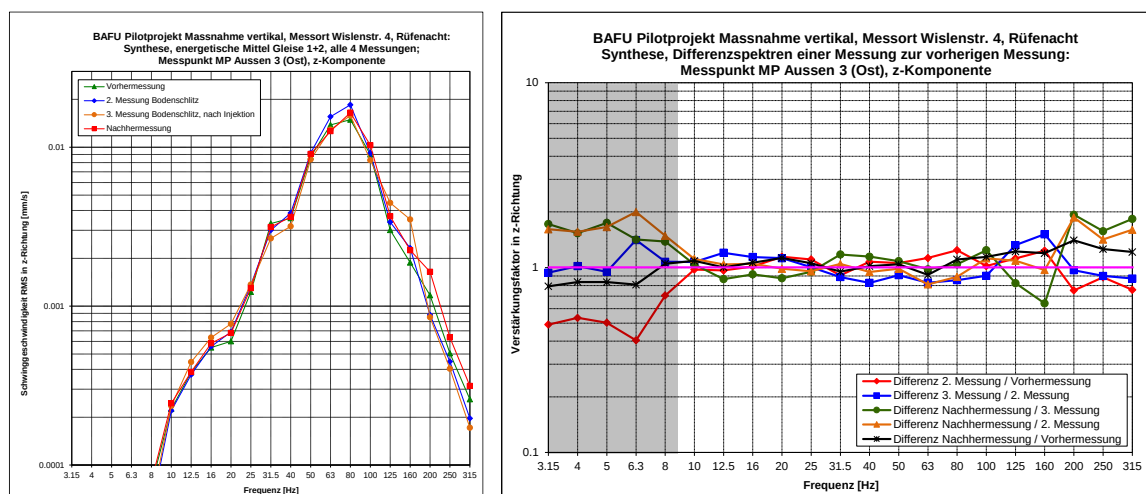
Die Messung des Ausgangszustandes (Vorhermessung) fand bereits am 12. November 2021 statt, denn es bestand die Absicht, bei der Liegenschaft Wislenstr. 4 eine vertikale Entkoppelung mit Elastomermatten direkt an der Aussenwand des Untergeschosses gegen die Bahn hin zu verwirklichen. Aus baulichen und Kostengründen wurde schliesslich auf die Ausführung dieser Massnahme verzichtet. Bis das neue Pilotprojekt mit dem Isolationskörper und der Elastomermatte im Bodenschlitz zur Ausführung bereit war, dauerte es bis Ende 2022. Im Januar 2023 konnten die Zwischenetappen «offener Bodenschlitz» und «nach der Injektion des Bodens bei immer noch offenem Bodenschlitz» gemessen werden. Infolge der warmen Temperaturen war der Boden zum Zeitpunkt der Messungen nicht gefroren. Danach sanken die Temperaturen und um sicher zu gehen, dass der Boden nicht mehr gefroren ist, wurde die Abschlussmessung mit verfülltem Bodenschlitz mit den Elastomermatten erst Ende März 2023 durchgeführt.

Durch die lange Dauer zwischen Ausgangs- und Abschlussmessung von 1 Jahr und 4 Monaten ist nicht gewährleistet, dass der Schienen- (inkl. Stösse und Weiche) und Radzustand der Fahrzeuge für die Messkampagnen gleich war. Zu diesem Zweck wurden drei Messpunkte entlang der Strasse platziert, die durch die Massnahme im Boden nicht beeinflusst wurden (MP Aussen 1 bis 3). Eine Änderung der Erschütterungsemission konnte so erkannt und deren Grösse bestimmt werden. Siehe dazu die Ausführungen im Kapitel 3.1.1.

3.1. Dämmleistung des Isolierkörpers

Die Dämmleistung des Isolierkörpers im Boden kann an verschiedenen Orten und mit unterschiedlichen Kriterien bestimmt werden. Was schliesslich zählt, ist die Reduktion der Erschütterungen und des abgestrahlten Körperschalls in den beurteilungsrelevanten Räumen des Gebäudes. Ist die Reduktion spürbar und hörbar, bzw. werden die Beurteilungsgrössen der BEKS bezüglich Erschütterungen und Körperschall deutlich reduziert?

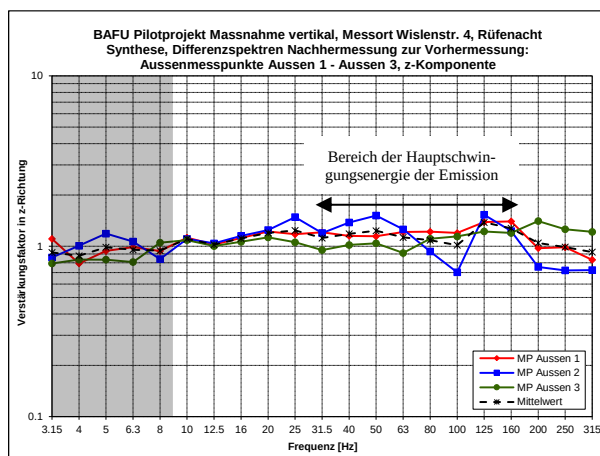
3.1.1 Einfluss von Rollmaterial und Schienenzustand bei den Erschütterungen



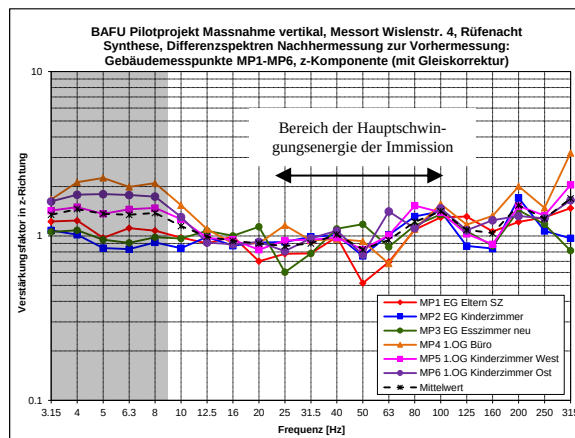
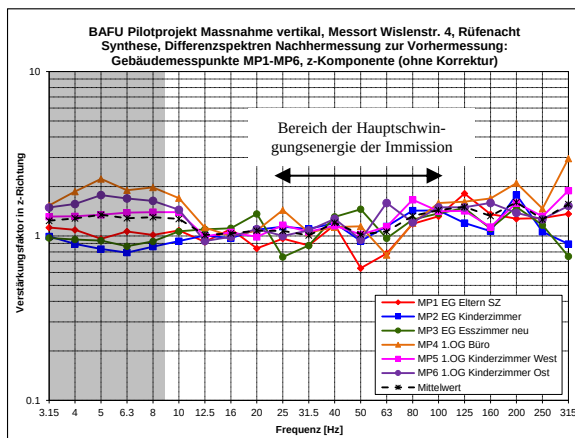
Mittlere Terzbandspektren der vier Messungen gemessen als Beispiel am Messpunkt Aussen 3 (links) sowie deren Differenzspektren (rechts)

Die mittleren Terzbandspektren der vier Messungen liegen alle sehr nahe beieinander und deren Differenzen bei den Aussenmesspunkten entlang der Strasse (→ **Beilage N°11, S.120**) zwischen den einzelnen Bauphasen sowie zwischen Vorher- und Nachhermessung (schwarz) schwanken um den Faktor 1, also praktisch kein Unterschied. Dies zeigt, dass das Rollmaterial und der Schienenzustand nur einen unbedeutenden Einfluss auf die Messresultate gehabt haben. Eine gewisse Streuung der Erschütterungen ist immer vorhanden.

Im Detail (vgl. folgende Abb.): Messpunkt Aussen 1 liegt etwas abseits der Schienenstösse und Weiche, Messpunkt Aussen 2 befindet sich direkt vor den Schienenstössen und Messpunkt Aussen 3 liegt nahe der Weiche. Die Schwingungsamplituden im Bereich der Hauptenergie zwischen 32 und 160 Hz sind bei Messpunkt Aussen 1 bei der Nachhermessung gegenüber der Vorhermessung im Mittel 23% höher (rot), beim Messpunkt Aussen 2 um 22% (blau) und beim Messpunkt Aussen 3 um 7% (grün), was im Mittel +18% entspricht. Neben den Schienenstössen streuen die Werte etwas mehr als bei den anderen beiden Messpunkten. Das zeigt sich auch beim Verhältnis des mittleren gleitenden Effektivwertes bei den drei Aussenmesspunkten: Zunahme um 23% beim MP Aussen 1, Abnahme um 22% beim MP Aussen 2 und Zunahme um 10% beim MP Aussen 3, was im Mittel nur +4% entspricht.



Mittlere Differenzspektren der drei Messpunkte Aussen 1 bis Aussen 3 der Nachher- zur Vorhermessung



Mittlere Differenzspektren der sechs Gebäudemesspunkte MP1 bis MP6 der Nachher- zur Vorhermessung, links ohne Korrektur und rechts mit Korrektur der mittleren Differenzen der Messpunkte Aussen 1-3 pro Terzband

Mit der terzweisen Korrektur der mittleren Differenz an den drei Messpunkten Aussen 1-3 reduziert sich die mittlere Zunahme der Erschütterungen im Terzspektrum über alle Gebäudemesspunkte MP1-MP6 von der Vorhermessung zur Nachhermessung von +16% auf +3% im Bereich mit der grössten Schwingungsenergie zwischen 25Hz und 100 Hz. Die einzelnen Terzbandwerte der Differenzen schwanken dabei mehrheitlich um den Faktor 1. Ein eindeutiger Trend zu einer Dämmleistung der Massnahme kann nicht erkannt werden, weder in positiver noch in negativer Richtung. Ein Einfluss wegen unterschiedlichem Rollmaterial und Unterschiede beim Schienenzustand auf die zu interpretierenden Messdaten ist sicher vorhanden, aufgrund der geringen Grösse der Unterschiede und deren Verteilung im Frequenzbereich muss von Zufälligkeiten gesprochen werden, die in der allgemeinen Streuung der Messungen untergehen.

Fazit: Reduziert man die Erschütterungen der Nachhermessung in den Zimmern um den Trend der Messpunkte an der Strasse, so bleibt in erster Näherung eine Differenz zwischen der Nachhermessung und der Vorhermessung plus/minus Faktor 1, d.h. der Effekt der Massnahme im Boden liegt bei den Erschütterungen im Streubereich der Messungen und ist somit praktisch nicht vorhanden.

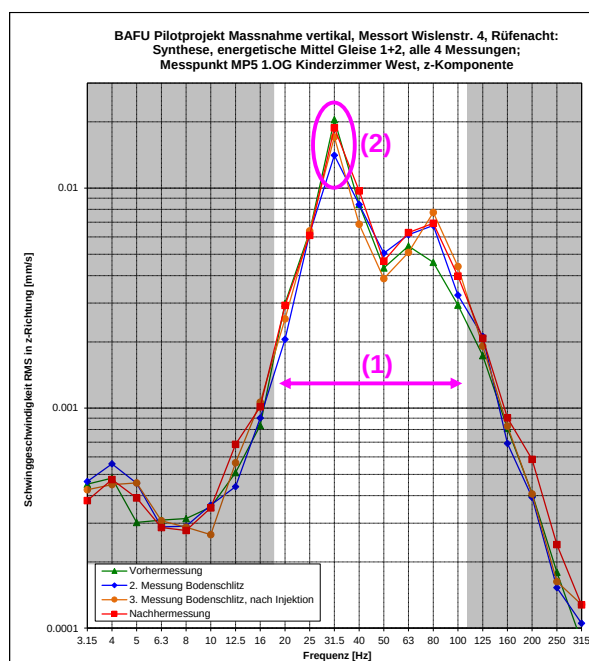
In den folgenden Abbildungen und Tabellen (Erschütterungen und Körperschall) wird auf eine Korrektur der Werte aufgrund der Einflüsse von Rollmaterial und Schienenzustand verzichtet. Es geht mehr um die generellen Tendenzen aufgrund der Massnahme und deren Bauetappen unter dem Gesichtspunkt einer Streubreite von 10-20% bei den Erschütterungen und schätzungsweise 2-3 dBA beim Körperschall.

3.1.2 Erschütterungen

Folgende Differenzen der Nachher- zur Vorhermessung bzw. auch zwischen den Zwischenmessungen wurden für die Gebäudemesspunkte in den Zimmern bestimmt (vgl. folgende Abbildung und Tabellen):

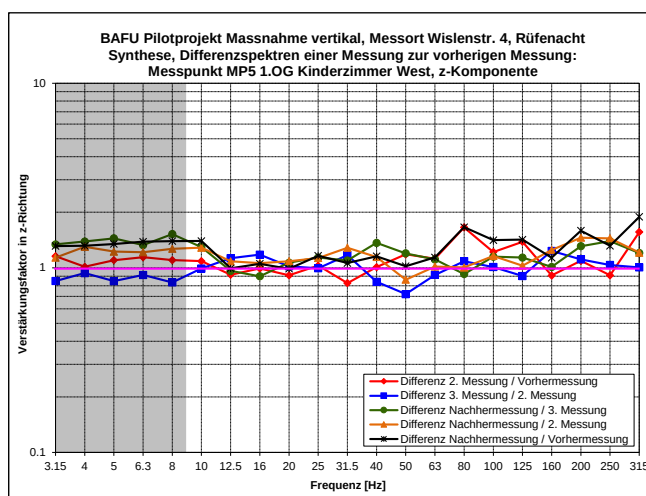
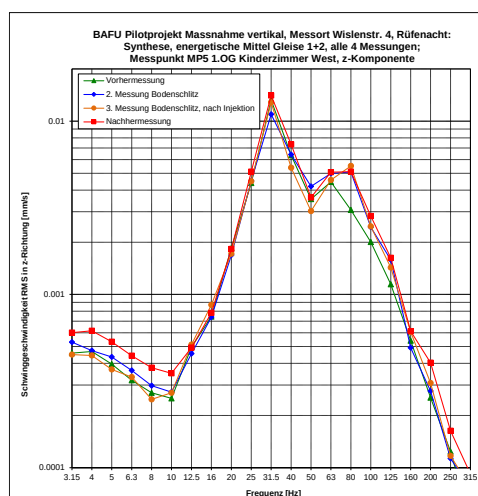
- (1) Mittlere Änderung in den Terzbändern mit relevanter Schwingungsenergie bestimmt über den Mittelwert der Differenzen in jedem Terzband (ca. 25-100 Hz je nach Raum)
- (2) Änderung in den Terzbändern mit der Hauptschwingungsenergie (unterschiedlich je nach Raum)
- (3) Mittlere Änderung der KB-Werte KB_{FTim}

In **→ Beilage N°3, S.54-57** sind die KB-Werte nach DIN 4150-2 der Gebäudemesspunkte in den Zimmern EG und 1.OG für die vier Messungen zusammengestellt. Die KB-Werte sind frequenzbewertet (KB-Filter) und bandbegrenzt (1-80 Hz). Sie geben das Empfinden von Menschen in Gebäuden wieder. Sie werden durch die Frequenzbereiche mit der Hauptschwingungsenergie (stärkste Amplituden) bestimmt (**→ Beilage N°10, S.117-118**). In den Zimmern wird die Hauptschwingungsenergie durch die Deckeneigenfrequenz dominiert. Die Deckeneigenfrequenzen der Zimmer liegen zwischen 21 Hz und 43 Hz, also alle unter 50 Hz.



Beispiel für die Bestimmung der Änderung der Schwingungsenergie im Terzbandspektrum

In den Abbildungen von **→ Beilage N°10, S.113-118** sind die Terzbandspektren der Erschütterungen der vier Messungen an den Aussen-, Fundament- und Zimmermesspunkten pro Messpunkt zusammengestellt. Bereits in dieser zusammenfassenden Darstellung kann erkannt werden, dass sich die Amplituden der vier Messungen bis auf wenige Terzbänder sehr konsistent sind und wenig Abweichungen voneinander zeigen. In den Abbildungen von **→ Beilage N°11, S.120-126** sind verschiedene Differenzen der einzelnen Bauphasen für jeden Messpunkt graphisch mit logarithmischer Achse dargestellt. Innerhalb einer gewissen Streuung aufgrund der Messunsicherheit kann bei allen Messpunkten aussen und in den Zimmern kein eindeutiger Trend ausgemacht werden. Sogar der offene Bodenschlitz (2. Messung) bringt keine Verbesserung gegenüber der Vorhermessung (rote Spektren).



Mittlere Terzbandspektren der vier Messungen gemessen am Gebäudemesspunkt MP5 1.OG Kindezimmer West (rechts) sowie deren Differenzspektren (rechts)

In den Zimmern des Gebäudes ist das Bild dasselbe mit einem leichten Trend zu höheren Werten als Faktor 1 bezüglich der Amplitudendifferenz im Hauptenergiebereich, was aber

auch durch die Messungenauigkeit und die leichte Erhöhung der Emission (MP Aussen 1-3) verursacht werden konnte. Das würde sonst heissen, dass die Erschütterungsschutzmassnahme die Erschütterungssituation im Gebäude verschlechtert hat, was nicht logisch erscheint. Es ist im Gebäude keine Dämmwirkung der Massnahme zu erkennen.

Nachher- zu Vorher	MP1	MP2	MP3	MP4	MP5	MP6	Auss.1-3
(1) Terzbänder 25-100 Hz	+6.4%	+19.6%	+14.0%	+23.3%	+23.0%	+22.8%	+17.7%
(2) Terzband mit Max.ampl.	-3.6%	+10.5%	-12.5%	+13.2%	+6.1%	+0.1%	+8.5%
(3) KB-Werte KB_{FTim}	-4.5%	+6.3%	+0.9%	+19.3%	-2.0%	-18.1%	-

Mittlere Änderung Nachher- zu Vorhermessung bezüglich Amplituden in Terzbandspektren und KB-Werten gemäss DIN 4150-2 in Prozent

Bei den KB-Werten wird je nach Zimmer eine Abnahme oder Zunahme der Erschütterungen verzeichnet, auch ohne Korrektur der unterschiedlichen Zustände von Schiene und Wagenmaterial. Die KB_{FTi} -Werte sind stark von den Schlägen beim Schienenstoss und beim Weichenherz abhängig. Der maximale KB-Wert einer Vorbeifahrt kann stark variieren und das Maximum betrifft nur einen kleinen Bruchteil der Vorbeifahrtsdauer. Ein klarer Trend bezüglich Dämmleistung kann deshalb bei den KB_{FTi} -Werten nicht abgelesen werden, ausser dass die Wirkung der Massnahme nicht gross sein kann.

Wird das Bild klarer, wenn die drei Phasen während der Erstellung der Massnahme (mit offenem Bodenschlitz, dann nach der Injektion mit dem Kunstharzschaum und zum Abschluss mit den Platten mit den Elastomermatten und der Hinterfüllung) einzeln betrachtet werden?

2. Messung zu Vorher	MP1	MP2	MP3	MP4	MP5	MP6	Auss.1-3
(1) Terzbänder 25-100 Hz	-10.3%	+2.7%	+2.1%	+8.8%	+14.8%	+10.2%	+14.9%
(2) Terzband mit Max.ampl.	-13.6%	-21.2%	-19.0%	-0.3%	-17.3%	+6.5%	+32.1%
(3) KB-Werte KB_{FTim}	-11.8%	-6.7%	-7.9%	+10.4%	-10.9%	-0.3%	-

Mittlere Änderung 2. Messung (offener Bodenschlitz) zu Vorhermessung bezüglich Amplituden in Terzbandspektren und KB-Werten gemäss DIN 4150-2 in Prozent

Der offene Bodenschlitz mit 2 m Tiefe bringt mehrheitlich eine leichte Verringerung der Erschütterungen. Die Reduktion ist aber zu gering für einen spürbaren Effekt, auch unter Berücksichtigung der leichten Erhöhung der Emission.

3. Messung zu 2. Messung	MP1	MP2	MP3	MP4	MP5	MP6	Auss.1-3
(1) Terzbänder 25-100 Hz	-2.3%	-2.0%	-0.6%	-6.1%	-3.8%	-0.6%	-4.2%
(2) Terzband mit Max.ampl.	+9.5%	+17.5%	-8.1%	-19.7%	+17.2%	-13.7%	-9.4%
(3) KB-Werte KB_{FTim}	+15.3%	+15.9%	-1.0%	-24.0%	+1.6%	-5.4%	-

Mittlere Änderung 3. Messung (nach Injektion) zu 2. Messung (offener Bodenschlitz) bezüglich Amplituden in Terzbandspektren und KB-Werten gemäss DIN 4150-2 in Prozent

Die Injektion mit dem Kunstharzschaum unterhalb des offenen Bodenschlitzes zwischen 2 m und 6 m Tiefe bringt ebenfalls mehrheitlich eine leichte Reduktion der Erschütterungen. Die Änderung ist jedoch sehr gering, da sich auch die Emission ganz leicht im Minus befindet.

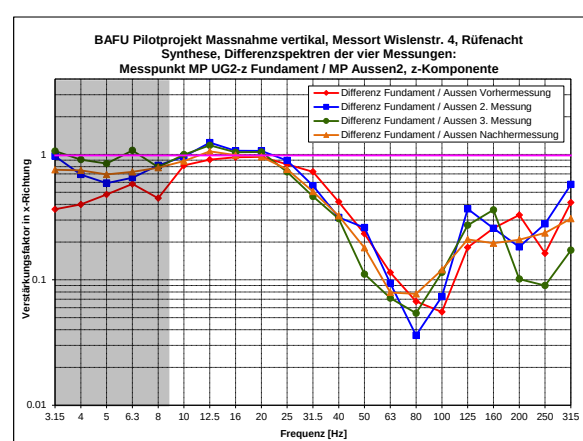
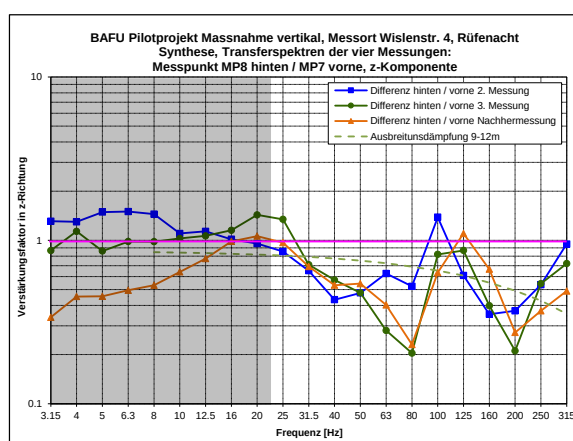
Nachher- zu 3. Messung	MP1	MP2	MP3	MP4	MP5	MP6	Auss.1-3
(1) Terzbänder 25-100 Hz	+20.7%	+21.9%	+11.6%	+19.0%	+14.0%	+14.9%	+10.8%
(2) Terzband mit Max.ampl.	+1.9%	+19.4%	+17.5%	+41.3%	+9.6%	+8.8%	-6.8%
(3) KB-Werte KB_{FTim}	-6.0%	-1.7%	+10.7%	+42.2%	+8.3%	-13.3%	-

Mittlere Änderung Nachher- zu 3. Messung (nach Injektion) bezüglich Amplituden in Terzbandspektren und KB-Werten gemäss DIN 4150-2 in Prozent

Mit der Füllung des Bodenschlitzes mit den Elastomermatten auf Schaltafeln und Sand und Erdreich werden die Erschütterungen mehrheitlich wieder etwas verstärkt, was zu erwarten war.

Die Differenzspektren der drei Fundamentmesspunkte in horizontaler bzw. vertikaler Richtung zeigen das gleiche Bild wie bei den Zimmermesspunkten ($\rightarrow$ **Beilage N°11, S.121-123**). Über 80 Hz streuen die Differenzwerte in horizontaler Richtung teilweise sehr stark, was mit der Aufstellung der Messgeräte (Messgerätfüsse) zu tun hat und nicht mit der effektiven Differenz der Erschütterungen am Fundament.

In folgender Abbildung (links) wird die Abminderung der Erschütterungen zwischen den beiden Messpunkten vor und hinter der Massnahme dargestellt. Diese beiden Sensoren wurden auf Erdsprissen befestigt. Im kiesig-erdigen Boden garantieren die Erdsprisse nicht unbedingt die gleiche Ankopplung an den Untergrund, da die Spiesse bei jeder Messung neu eingeschlagen werden mussten. Wegen der Bauarbeiten am offenen Bodenschlitz befanden sich die beiden Messpunkte rund 3 Meter voneinander entfernt. Dadurch nehmen die Schwingungen bereits durch die normale Ausbreitungsdämpfung ab, bei höheren Frequenzen stärker als bei tieferen (gestrichelte Kurve). In diesem Diagramm fällt auf, dass im Bereich von 100-125 Hz ein Einbruch bei der Ausbreitungsdämpfung besteht, egal ob der Bodenschlitz noch offen oder mit eingebauter Massnahme wieder aufgefüllt ist. Die Ursache für diesen Einbruch ist fraglich, könnte z.B. mit der Gebäudenähe des Messpunktes hinter der Massnahme zu tun haben.



Mittlere Übertragungsspektren aller Messungen direkt über die Massnahme (MP8 hinten / MP7 vorne) und von aussen über die Massnahme zum Fundament (MP UG2-z / MP Aussen2)

In der obigen Abbildung (rechts) wird die Abminderung der Erschütterungen zwischen den beiden Messpunkten «Aussen vor der Massnahme» und am «Fundament» für die verschiedenen Bauzustände in vertikaler Richtung dargestellt. Neben dem Ankopplungsverlust des Gebäudes kommt noch die Ausbreitungsdämpfung und eine allfällige Dämmleistung der

Massnahme auf dem Ausbreitungsweg hinzu. Über die vier Messungen sind Ankopplungsverlust und Ausbreitungsdämpfung gleich, also sollte man den Effekt der Erstellungsphasen der Massnahme erkennen. Es können jedoch keine relevanten Differenzen zwischen den Übertragungsspektren ausgemacht werden (→ **Beilage N°12, S.128-130**).

3.1.3 Abgestrahlter Körperschall

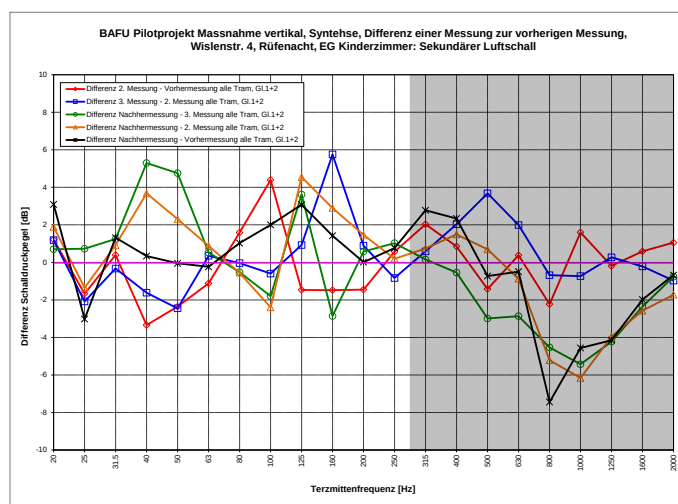
Von den ermittelten Terzbandspektren der Schallmessungen können in gleicher Weise wie bei den Erschütterungen Differenzen gebildet werden, und zwar zwischen den vier Messungen bei den vier gemessenen Räumen.

In → **Beilage N°13, S.132-137** sind die Differenzspektren der Schallpegel der gemittelten Tramfahrten der vier Gebäudemesspunkte in den Zimmern UG und EG für alle vier Teilmessungen zusammengestellt. Da bei einzelnen Terzbändern Unterschiede von über 10 dB zu verzeichnen sind, wurden auch die Differenzspektren der Ruhemessungen in die Diagramme eingefügt, womit die Abweichungen besser erklärt werden könnten.

Auf den ersten Blick sehen die Differenzspektren im UG nach einer guten Dämmleistung bei den tiefen Frequenzen 30-50 Hz, aber auch nach einer deutlichen Verstärkung bei Frequenzen um die 100 Hz. Über 2000 Hz sind die Differenzspektren durch das Grundrauschen dominiert. Zwischen 125 Hz und 2000 Hz erkennt man ein Auf und Ab über wenige Dezibel. Berücksichtigt man auch die Differenzspektren der Ruhemessungen, so fällt grob gesehen der gleiche Trend auf, wie beim Nutzsignal der Tramfahrten. Wenn allenfalls ein Effekt der Massnahme in diesen Differenzspektren gesehen werden kann, dann am ehesten bei Frequenzen zwischen 160 Hz und 2000 Hz. Eine klare Tendenz in diesem Frequenzbereich kann nicht ausgemacht werden.

Aus den Betrachtungen der Erschütterungen wissen wir, dass sich der Zustand der Schienen und des Rollmaterials tendenziell leicht verschlechtert hat und etwas stärkere Erschütterungen zu verzeichnen sind. Allerdings ist über 250 Hz kaum mehr Schwingungsenergie der Tramfahrten zu verzeichnen. Aussagen zum Körperschall bis 2000 Hz macht deshalb keinen Sinn.

In der folgenden Abbildung werden die Differenzspektren in einem der vier gemessenen Räume wiedergegeben. Der grau hinterlegte Frequenzbereich wurde bei der Bestimmung der Schallpegel nicht mehr berücksichtigt. Auch beim abgestrahlten Körperschall ist kein eindeutiger Trend zu einer Veränderung des Schalldruckpegels zu erkennen. In der Tendenz ist sogar eine leichte Erhöhung zu sehen. In den anderen Räumen am 2. Standort ergibt sich das gleiche generelle Bild (→ **Beilage N°15, S.142-143**).



*Mittlere Differenzspektren aller Schallmessungen des Pilotprojektes
für den Messpunkt EG Kinderzimmer*

Analog zu den Differenzbildungen bei den Erschütterungen wurden auch bei den Schallmessungen die Differenzen der Nachher- zur Vorhermessung bzw. auch zwischen den Zwischenmessungen für die Gebäudemesspunkte in den Zimmern bestimmt:

- (1) Mittlere Änderung in den relevanten Terzbändern bezüglich A-bewerteter Schallenergie bestimmt über den Mittelwert der Differenzen in jedem Terzband (ca. 25-100 Hz je nach Raum)
- (2) Änderung in den Terzbändern mit der A-bewerteten Hauptschallenergie (unterschiedlich je nach Raum)
- (3) Mittlere Änderung der A-bewerteten Vorbeifahrtspegel LA_{eq} (Terzbandwerte aufsummiert bis 250 Hz)

Vergleicht man die Differenzen der Schallpegel der Nachher- zur Vorhermessung der Räume im UG und EG, ergeben sich folgende Ergebnisse:

Nachher- zu Vorher	Mikr. 1-1 UG Waschküche	Mikr. 1-2 EG Schlafzi.	Mikr. 2-1 UG Gästezi.	Mikr. 2-2 EG Kinderzi.
(1) Terzbänder 80-200 Hz	+2.3 dBA	+3.3 dBA	+3.8 dBA	+1.8 dBA
(2) Terzband mit Max.ampl.	+2.3 dBA	+3.0 dBA	-0.1 dBA	+2.0 dBA
(3) Werte LA_{eq}	+1.5 dBA	+2.4 dBA	+3.4 dBA	+1.6 dBA

*Mittlere Änderung Nachher- zu Vorhermessung bezüglich Amplituden in
Terzbandspektren und LA_{eq} -Werten in dBA*

Die Änderungen zwischen Nachher- und Vorhermessung in den Räumen des Gebäudes und den drei Differenzbildungen sind konsistent. Über die ganze Messperiode hat sich der abgestrahlte Körperschall unerwarteterweise erhöht. Der mittlere Schallpegel LA_{eq} über die Vorbeifahrtsdauer der Trams hat gegenüber der Vorhermessung um rund 1.5-2.5 dBA zugenommen, ausser im UG-Zimmer gegen die Weiche hin. Dort ist die Zunahme über 3 dBA. Die Zunahme der Schallpegel ist auf die Veränderung aller Randbedingungen zurückzuführen. Dazu gehört neben den baulichen Veränderungen durch die Massnahme auch die Veränderungen beim Schienenzustand und dem Rollmaterial. Ein weiterer Einflussfaktor kann auch die Mikrofonposition sein: Um ein paar Zentimeter unterschiedlich Messpositionen im Raum (infolge der unterschiedlichen Raummoden stehender Wellen für die verschiedenen

Frequenzen kann eine leicht veränderte Mikrofonposition zu leicht unterschiedlichen Pegeln führen). Da die Anregung aber relativ breitfrequent ist, ist der Einfluss auf den Gesamtpegel eher gering. Im Differenzspektrum der Schallpegel könnte dieser Effekt jedoch eine gewisse Rolle spielen.

Wie verändern sich die Schallpegel, wenn die drei Phasen während der Erstellung der Massnahme (mit offenem Bodenschlitz, dann nach der Injektion mit dem Kunstharzschaum und zum Abschluss mit den Platten mit den Elastormatten und der Hinterfüllung) einzeln betrachtet werden?

2. Messung zu Vorher	Mikr. 1-1 UG Waschküche	Mikr. 1-2 EG Schlafzi.	Mikr. 2-1 UG Gästezi.	Mikr. 2-2 EG Kinderzi.
(1) Terzbänder 80-200 Hz	+2.2 dBA	+2.3 dBA	+0.2 dBA	+1.4 dBA
(2) Terzband mit Max.ampl.	-0.2 dBA	+2.9 dBA	-1.9 dBA	+4.4 dBA
(3) Werte LA_{eq}	+1.2 dBA	+1.6 dBA	-0.3 dBA	+1.0 dBA

Mittlere Änderung 2. Messung (offener Bodenschlitz) zu Vorhermessung bezüglich Amplituden in Terzbandspektren und LA_{eq} -Werten in dBA

Der offene Bodenschlitz mit 2 m Tiefe bringt mehrheitlich eine leichte Erhöhung des abgestrahlten Körperschalls. Gegenüber den Erschütterungen ist das ein gegenläufiger Trend.

3. Messung zu 2. Messung	Mikr. 1-1 UG Waschküche	Mikr. 1-2 EG Schlafzi.	Mikr. 2-1 UG Gästezi.	Mikr. 2-2 EG Kinderzi.
(1) Terzbänder 80-200 Hz	-0.3 dBA	+0.5 dBA	+0.9 dBA	+0.9 dBA
(2) Terzband mit Max.ampl.	-0.7 dBA	+0.7 dBA	+0.9 dBA	-0.6 dBA
(3) Werte LA_{eq}	-0.3 dBA	+0.3 dBA	-0.8 dBA	+1.4 dBA

Mittlere Änderung 3. Messung (nach Injektion) zu 2. Messung (offener Bodenschlitz) bezüglich Amplituden in Terzbandspektren und LA_{eq} -Werten in dBA

Die Injektion mit dem Kunstharzschaum unterhalb des offenen Bodenschlitzes zwischen 2 m und 6 m Tiefe ergibt praktisch keine Veränderung des abgestrahlten Körperschalls.

Nachher zu 3. Messung	Mikr. 1-1 UG Waschküche	Mikr. 1-2 EG Schlafzi.	Mikr. 2-1 UG Gästezi.	Mikr. 2-2 EG Kinderzi.
(1) Terzbänder 80-200 Hz	+0.4 dBA	+0.5 dBA	+2.8 dBA	-0.4 dBA
(2) Terzband mit Max.ampl.	+1.4 dBA	-0.5 dBA	+0.8 dBA	-1.8 dBA
(3) Werte LA_{eq}	+0.6 dBA	+0.4 dBA	+2.8 dBA	-0.8 dBA

Mittlere Änderung Nachher- zu 3. Messung (nach Injektion) bezüglich Amplituden in Terzbandspektren und LA_{eq} -Werten in dBA

Mit der Füllung des Bodenschlitzes mit den Elastormatten auf Schaltafeln und Sand und Erdreich ergibt sich wiederum mehrheitlich eine leichte Erhöhung des abgestrahlten Körperschalls.

Gesamthaft über alle Teilmessungen zeigt sich kein einheitliches Bild. Der Trend geht eher in Richtung Verstärkung des abgestrahlten Körperschalls, sogar nach Erstellung des offenen Bodenschlitzes. Die ermittelten Unterschiede zwischen den Bauetappen liegen aber im Bereich der Messunsicherheit. Die Erschütterungen zeigen für diese Phase eine leichte Zunahme an den Aussenmesspunkten vor dem Bodenschlitz, was auf eine leichte Erhöhung der Emission schliessen lässt. Es ist naheliegend, dass die leichte Erhöhung der Erschütterungen

bei der Emission auch zu einer leichten Erhöhung des Schallpegels führen. Dies kann anhand der durchgeführten Messungen aber nicht direkt nachgewiesen werden. Trotzdem muss konstatiert werden, dass die Massnahme in Form des Injektionskörpers im tieferen Bereich und der Elastomermatten im oberflächennahen Bereich beim abgestrahlten Körperschall keine wahrnehmbare Wirkung zeigt.

Ein Trend zu Reduktion der Schallpegel durch die Massnahme im Boden kann aus den Differenzspektren der Schallmessungen nicht erkannt werden. Falls einer existiert, ist er sehr gering und wird durch die anderen Effekte überdeckt.

3.2. Sensitivitätsbetrachtungen

Bei den Messpunkten wurde darauf geachtet, dass sie für die verschiedenen Messungen möglichst genau an den gleichen Positionen gesetzt wurden und die gleichen Bedingungen bei der Ankopplung der Sensoren herrschten. Dies war ausser bei den Erdspiessen im Ausserbereich gewährleistet.

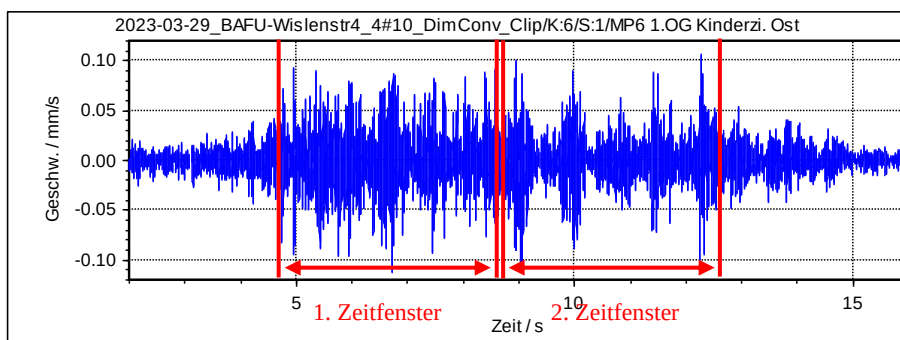
Die Aufstellungsart der Messgeräte im Innern der Gebäude hat ebenfalls einen Einfluss auf die Messdaten, besonders auf die horizontalen Komponenten der Messgeräte auf der Bodenplatte im UG. Werden die Sensoren direkt auf den Boden gestellt bzw. geklebt, dann ist der Einfluss gering. Auf Füßen hingegen treten Eigenschwingungen in horizontaler Richtung auf, die zu unrealistischen Schwingungen in Frequenzbereich oberhalb von etwa 100 Hz führen. Bei Differenzbildung können in diesem Frequenzbereich grosse Unterschiede resultieren, wenn unterschiedliche Geräte bzw. Sensoren an einem Messpunkt über die vier Messungen standen.

Die allgemeine Unruhe betreffend Lärm und Erschütterungen kann nicht direkt beeinflusst werden. Gewerbebauten, eine stark befahrene Strasse gegenüber der Bahn führten teilweise zu Störungen oder Lärm, was die Messungen unterschiedlich stark beeinflusste. Durch eine Auswahl der besten Signale für die Auswertung wurden diese Effekte so gut wie möglich reduziert, aber nicht ganz eliminiert.

Die meisten Trams erzeugten bei der Vorbeifahrt elektrische Störimpulse, die die Erschütterungsaufzeichnung teilweise beeinflussten, was zu erhöhten Amplitudenwerten im tieferen Frequenzbereich führte. Die betroffenen Terzbandwerte wurden bei den Mittelungen nicht berücksichtigt. Der massgebende Frequenzbereich wurde dadurch jedoch nicht betroffen.

Durch längere Messzeiten hätten mehr Trams ausgewertet werden können, was die Streuung etwas reduziert hätte. Das Rollmaterial der Trams war jedoch sehr homogen.

Da das ausgewertete Zeitfenster bei den Erschütterungen die ganze Vorbeifahrt abdeckte, könnte es sein, dass beim RMS-Terzbandspektrum die massgebende Schwingungsenergie von der Überfahrt über das Herzstück der Weiche an der Massnahme vorbei ins Gebäude eindringt (siehe folgende Abbildung) und so die Analyse der Dämmleistung wesentlich beeinflusst. Um dies auszuschliessen, wurden bei einem Teil der Tramfahrten zwei Zeitfenster ausgewertet, eines bei der Überfahrt der Schienenstösse direkt vor dem Gebäude und ein zweites mit der Weichenüberfahrt.



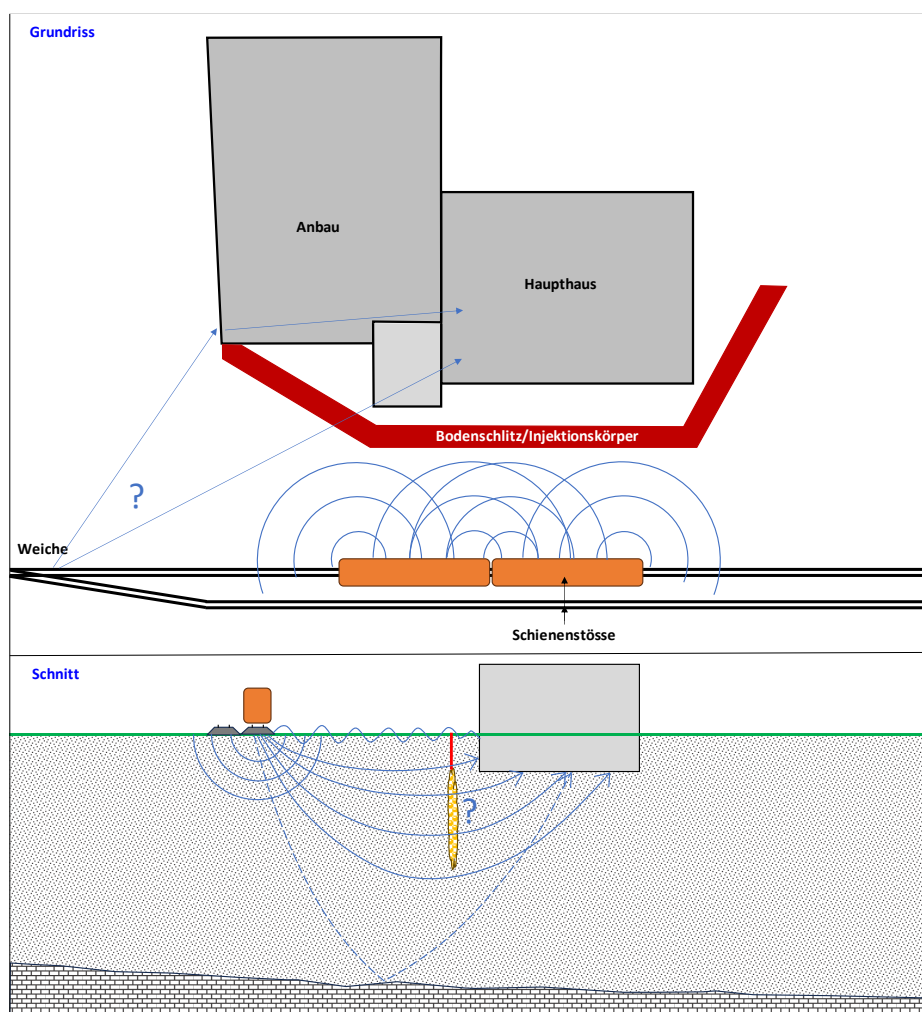
Beispiel Zeitverlauf der Nachhermessung MP 6 in Zimmer OG mit Auswertzeitfenster ‚Schienenstösse‘ und ‚Weiche‘

Alle Auswertungen über beide Zeitfenster (Terzspektren der Einzelsignale in → **Beilage N°16, S.148-153** und deren Transferspektren in → **Beilage N°17, S.155-156**, sowie die mittleren Terzspektren über alle vier Messungen in → **Beilage N°18, S.158-163** und deren Transferspektren von den Aussenmesspunkten zum Fundament in → **Beilage N°19, S.165-167**) zeigen genau das gleiche Bild wie über das Zeitfenster der gesamten Vorbeifahrt. Es kann deshalb ausgeschlossen werden, dass der Wellenweg seitlich um die Massnahme herum zur ausbleibenden Dämmleistung führte. Das Diagramm in → **Beilage N°20, S.169** zeigt die Transferspektren zwischen den Aussenmesspunkten vor und hinter der Massnahme. Diese sind für die beiden Zeitfenster praktisch identisch, obwohl der Wellenweg für die beiden Zeitfenster unterschiedlich ist, nämlich direkt von vorne bzw. von der Seite.

Um die höheren Körperschallpegel zu erklären, wurde ein Versuch unternommen, den Körperschallpegel aus den korrigierten Erschütterungen (Abzug der verstärkten Erschütterungen infolge veränderter Emission) mit dem neuen Prognosetool nach EMBE (entwickelt unter anderem durch Trombik Ing. für das BAFU) für die beiden Zimmer im EG (Berechnung funktioniert nur für Räume auf Geschossdecken) zu berechnen. Basis für die Berechnung waren die unkorrigierten Terzspektren der Erschütterungen der Vorher- und Nachhermessung. Für die Umrechnung der Erschütterungen in den Körperschall wurden die Parameter eines Standardwohnraums verwendet, womit die gemessenen Körperschallpegel bei der Prognoseberechnung um geringe 1-2 dBA überschätzt werden. Reduziert man nun die Terzspektren der Zimmer um die Faktoren des Differenzspektrums beim Messpunkt Aussen 1 mit dem geringsten Einfluss von Schienenstoss und Weiche und berechnet den Körperschall neu, so reduziert sich dieser um 2 dBA. Damit liegen die berechneten Körperschallpegel «Vorher» und «Nachher» praktisch gleichauf. Das heisst, dass die Zunahme des gemessenen Körperschalls sehr wahrscheinlich ausschliesslich auf die veränderten Randbedingungen des Schienenzustands und des Rollmaterials zurückzuführen ist. Das heisst aber auch, dass die Massnahme im Boden kaum eine Wirkung auf den abgestrahlten Körperschall hat, was mit der Aussage zu den Erschütterungen übereinstimmt.

4. FAZIT

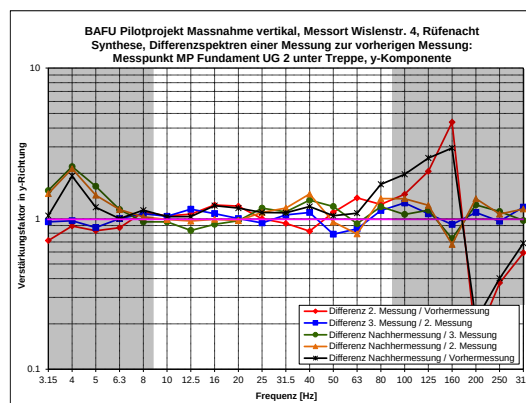
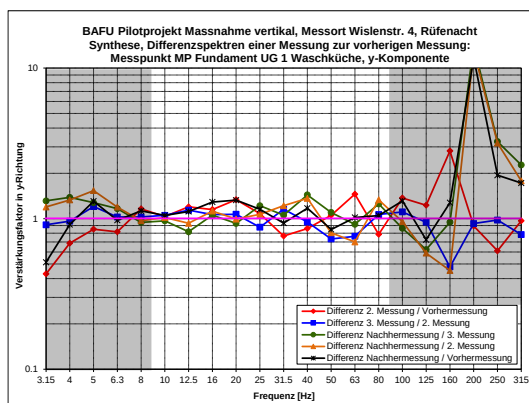
Vergleicht man die Messresultate von der Vorher- zur Nachhermessung nach Abzug einer leichten Erhöhung der Erschütterungsemission infolge unterschiedlichem Rollmaterial und Unterschieden beim Schienenzustand (inkl. Schienenstösse und Weiche), so resultieren Unterschiede bei den Erschütterungen als auch beim Körperschall, die im Unsicherheitsbereich durch die Streuung der Messungen liegen. Dies obwohl zwischen den beiden Messungen zwischen dem Bahnkörper und dem Gebäude ein Injektionskörper zwischen 2 m und 6 m Tiefe erstellt und zwischen 0 m und 2 m Tiefe eine Elastomermatte in einem verfüllten Bodenschlitz montiert wurde. Diese Massnahme sollte theoretisch zumindest beim Körperschall eine wahrnehmbare Reduktion bewirken. Die Auswertung der Messungen zeigt dies jedoch nicht. Gemäss einer Untersuchung zu Bodenschlitzten der Hochschule für Technik, Rapperswil (2014) sind Füllmaterialien wie Elastomermatten und Injektion von PU-Schaum gut geeignet für eine ausreichende Abschirmwirkung. Wo die beste Positionierung des Bodenschlitzes für bewegliche Linienquellen ist, dafür konnten die Autoren keine gesicherten Angaben finden. Beim BAFU-Pilotprojekt war eine gebäudenah Position unumgänglich. Lassen sich aus den Auswertungen und Vergleichen von Vorher- und Nachhermessung sowie der Zwischenmessungen ausreichend sichere Aussagen machen, warum keine Dämmwirkung erkannt werden kann und an was es liegt, dass es so ist?



*Schematische Darstellung der Wellenausbreitung im Grundriss und Schnitt
am Standort des Pilotprojektes Wislenstr.4, Rüfenacht*

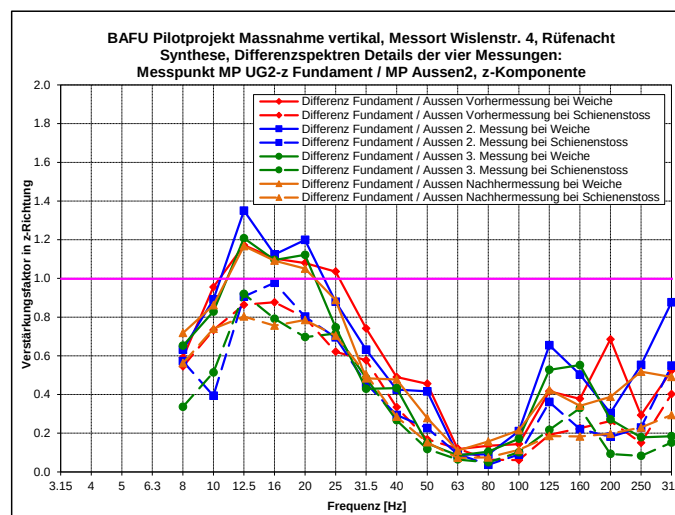
Es gibt verschiedene Vermutungen, die auch in Kombination eine Wirkung der Massnahme verhindert bzw. eingeschränkt haben könnten:

- **Bodensteifigkeit:** Der Boden könnte zu steif sein, als dass er eine ausreichend grosse Ausbreitung des Injektionskörpers zugelassen hätte, was bedeuten würde, dass sich der Kunstharzschaum nur um die eingebrachten Lanzen ausgebreitet hat und keinen durchgehenden Körper gebildet hat. Dadurch bleiben Körperschallbrücken zwischen den Lanzen bestehen, was die Wirkung minimiert.
- **Oberflächenwelle:** Die Oberflächenwelle überträgt nur einen unbedeutenden Teil der Schwingungsenergie in das Gebäude. Der Hauptanteil wird über das Fundament ins Haus geleitet. Das würde bedeuten, dass die Elastomermatte in den obersten 2 m auf dem Übertragungsweg nur eine minimale Wirkung bzw. keine Wirkung zeigen würde.
- **Tiefe des Bodenschlitzes:** Der offene Bodenschlitz reichte nicht ganz bis in die Tiefe des Gebäudefundamentes. Erreicht deshalb die massgebende Schwingungsenergie direkt die Bodenplatte und ergibt nur eine unwesentliche Verringerung der Schwingungen? Bei Gebäuden ohne Schutzmassnahme treffen die horizontalen Schwingungsanteile der Oberflächenwelle direkt auf die UG-Aussenwand. An Fundamentmesspunkten wird deshalb oft beobachtet, dass die horizontale Schwingungsrichtung senkrecht zur Aussenwand und zum Gleis (y-Richtung) grössere Schwingungsamplituden besitzen als in vertikaler Richtung. Wird die Ausbreitung der Oberflächenwelle durch einen offenen Bodenschlitz unterbrochen bzw. stark behindert und damit die Schwingungsenergie der Welle abgemindert, sollte man an den Fundamentmesspunkten bei einem Vergleich der Teilmessungen gegenüber vorangegangenen Zuständen z.B. mit Bodenschlitz zu ohne offener Bodenschlitz Unterschiede erkennen (rote Kurven in folgender Abbildung). Gegenüber den anderen Differenzspektren der Teilmessungen liegen sie tendenziell im unteren Bereich, aber eine klare Abnahme der Schwingungsamplituden ist nicht zu erkennen. Es scheint, dass bei der Ausbreitung der Schwingungen vom Gleis zum Gebäude die Massnahme im Boden komplett umgangen wird, aber auf welche Weise? Alle drei Messpunkte am Fundament, ganz aussen links UG1 und rechts UG3 sowie in der Mitte des Gebäudes UG2 zeigen keine Unterschiede.



Mittlere Differenzspektren in horizontaler y-Richtung aller Messungen von zwei Messpunkten UG1 und UG2 am Fundament des Gebäudes

- **Position des Bodenschlitzes, bzw. der Massnahme:** Über die Position eines Bodenschlitzes konnten die Autoren der Hochschule für Technik, Rapperswil (2014) keine gesicherten Angaben finden. Am Rand eines Körpers im Boden ist mit Beugung der Wellen zu rechnen, d.h. ein Teil der Schwingungsenergie ist auch im Schattenbereich der Massnahme vorhanden. Ob eine Position des Bodenschlitzes nahe bei der Quelle oder nahe am Immissionsort besser ist, dazu gibt es offensichtlich zu wenige Angaben. Es kann deshalb auch nicht mit Sicherheit postuliert werden, dass die Massnahme mit dem Injektionskörper möglichst nahe beim Bahnkörper zu besseren Resultaten, bzw. zu höherer Dämmleistung geführt hätte.
- **Reflexionshorizont:** Ein Reflexionshorizont unterhalb der Massnahmentiefe reflektiert so viel Schwingungsenergie, dass die Massnahme durch die Schwingungswellen umgangen wird. Der Felshorizont liegt gemäss geologischer Untersuchungen jedoch deutlich tiefer (mindestens doppelt so tief) als die 6 m Massnahmentiefe. Der Ausbreitungsweg ist dadurch für die Schwingungswellen deutlich grösser als der direkte Weg und die Schwingungsenergie sollte auf dem längeren Weg infolge geometrischer und Materialdämpfung deutlich abnehmen.
- **Seitliche Umgehung:** Die Schwingungen dringen über die bestehenden Stützmauern auf beiden Seiten des Gebäudes in den Baukörper ein (Körperschallbrücken). Eine Veränderung der Schwingungssituation mit der Massnahme vor dem Gebäude müsste aber erkannt werden. Die Detailanalyse mit zwei Zeitfenstern 'Weiche' und 'Schienenstösse' hat jedoch keinen Unterschied bei den Differenzspektren von der Seite gegenüber direkt von vorne bei den verschiedenen Bauphasen gezeigt (→ **Beilage N°19, S.165-167**). Es kann deshalb ausgeschlossen werden, dass der Wellenweg seitlich um die Massnahme herum zu der ausbleibenden Dämmleistung führte.



Mittlere Übertragungsspektren aller Messungen von aussen über die Massnahme zum Fundament (MP UG2-z / MP Aussen2) für beide Zeitfenster 'Weiche' und 'Schienenstösse'

- **Ausführungsqualität:** Der Übergang vom Isolierkörper zu den Einheiten mit den Elastormatten im Bodenschlitz könnte zu wenig genau ausgeführt worden sein, so dass bei der unebenen Oberseite des Isolierkörpers Körperschallbrücken bestehen blieben.

Tatsache ist, dass weder bei den Erschütterungen noch beim Körperschall ein positiver Effekt der Massnahme, d.h. eine Reduktion der Immissionen festgestellt werden konnte, wenn man die Messresultate der Vorher- und Nachhermessung und auch diejenige der Zwischenmessungen miteinander vergleicht. Die einzige Tendenz zu einer Verringerung der Erschütterungswerte konnte mit den Zahlen in der Tabelle auf S. 16 «Mittlere Änderung 2. Messung (offener Bodenschlitz) zu Vorhermessung» nachgewiesen werden, die der Differenz zwischen der Phase mit dem offenen Bodenschlitz zur Situation Vorher entspricht. Die Unterschiede sind jedoch zu gering, als dass sie in den Graphiken der weiteren Auswertungen auffallen würden. Warum das so ist, kann aufgrund der Auswertungen nicht evaluiert werden.

Da beim ersten Pilotprojekt mit einem Injektionskörper (Bundesamtes für Umwelt BAFU: „Pilotprojekt: Erschütterungs- und Körperschallmessungen zur Analyse der Schutzwirkung eines Isolierkörpers im Boden“. Trombik Ingenieure AG, Bericht Nr. 20.04201.EDS.001.A. 2. Juli 2021) mit einem 1 m tiefen Bodenschlitz, der mit dem Kunstharzschaum aufgefüllt wurde und einem Injektionskörper bis 5 m Tiefe eine gewisse Dämmleistung sowohl bei den Erschütterungen als auch beim Körperschall festgestellt werden konnte, erstaunt das jetzige Resultat, da der Bodenschlitz auf 2 m vertieft und mit einer Elastomermatte optimiert wurde, um den Körperschall im Bereich der Oberflächenwelle noch stärker zu reduzieren als mit dem relativ steifen Kunstharzschaum.

Es kann vermutet werden, dass der Unterschied in der Bauweise der Gebäude zwischen 1. und 2. Standort den Ausschlag geben könnte. Das nicht-unterkellerte Gebäude am 1. Standort „schwimmt“ auf den oberflächennahen Schichten, wohingegen das unterkellerte Gebäude am 2. Standort tiefer im Boden verankert ist. Das nicht-unterkellerte Gebäude reagierte wahrscheinlich empfindlicher auf Änderungen der Ausbreitungsbedingungen nahe der Oberfläche, wohingegen beim 2. Standort ein Grossteil der Schwingungen direkt über die tieferen Bodenschichten auf das Fundament einwirken und nicht über die Oberflächenwellen, womit zumindest der obere Teil der Massnahme umgangen werden konnte. Die Steifigkeit des Bodens liess wahrscheinlich eine ausreichende Ausdehnung des Injektionskörpers im tieferen Bereich des Bodens nicht zu, womit sich die Schwingungen dort praktisch ungehindert ausbreiten konnten. Das sind jedoch nur Vermutungen, die aufgrund der erhobenen Messdaten nicht bewiesen werden können.

Mit der Auswertung der Zwischenstufen konnte auch nicht herausgefunden werden, welcher der drei verschiedenen Zustände eine Veränderung der Schwingungssituation bewirkte – ausser der leichten Abnahme mit dem offenen Bodenschlitz. Aufgrund der Messungen an den beiden Standorten des Pilotprojektes kann jedoch ganz klar geschlossen werden, dass eine deutliche Dämmleistung, die zu einer spür- und hörbaren Reduktion der Immissionen bezüglich Erschütterungen und abgestrahlten Körperschall für die Anwohner führen würde, durch diese Massnahme (Bodenschlitz kombiniert mit einem Injektionskörper) vermutlich nur in speziellen Einzelfällen mit günstigen Randbedingungen erreicht werden könnte. Die unsicheren Randbedingungen verbunden mit hohen Erstellungskosten sind oftmals Gründe, die die Erstellung eines konventionellen Bodenschlitzes verhindern. Es ist fraglich, ob bei Untersuchungen an weiteren Standorten eine deutlich bessere Dämmleistung eines Isolierkörpers mit Kunstharzschaum nachgewiesen werden könnte. Somit muss konstatiert werden, dass die Erstellung der vorgestellten Massnahme zwar günstiger als ein gängiger Bodenschlitz ist, die Unsicherheiten über eine ausreichende Dämmleistung bleiben mit den getätigten Untersuchungen des Pilotprojektes jedoch bestehen. Falls in der Praxis mit der

Erstellung der Massnahme praktisch keine positive Wirkung erzielt würde, ist auch eine günstige Massnahme noch zu teuer.

6. ZUSAMMENFASSUNG

- Über ein Jahr nach den Erschütterungs- und Körperschallmessungen für die Vorhermessungen zur möglichen Erstellung einer seitlichen Entkopplung bei der Liegenschaft Wislenstrasse 4 in Rüfenacht, welche schliesslich nicht ausgeführt wurde, konnte ein neues Pilotprojekt mit einem optimierten Bodenschlitz und Injektionskörper auf dem Ausbreitungsweg ausgeführt werden. Die entsprechenden Messungen für zwei Zwischenzustände «offener Bodenschlitz» und «Injektionskörper bei offenem Bodenschlitz» sowie die «Nachhermessung mit verfülltem Bodenschlitz» konnten bei guten Bedingungen im Winter 2023 ohne gefrorenen Boden an fünf Aussen- und neun Gebäudemesspunkten erfolgreich durchgeführt werden. Ausser an den drei Fundamentmesspunkten mit triaxialer Messung wurde jeweils die Vertikalkomponente der Schwinggeschwindigkeit an allen Messpunkten parallel aufgezeichnet. Dazu wurde wie auch bei der Vorhermessung in zwei Räumen im Untergeschoss und in zwei Zimmern im Erdgeschoss der abgestrahlte Körperschall simultan gemessen.
- Von den registrierten Tramvorbeifahrten wurden je 16 möglichst störungsfreie Aufzeichnungen der Erschütterungen und des Körperschalls der Nachhermessung ausgewertet. Dazu wurden von den Erschütterungen die KB-Werte gemäss DIN 4150-2 und die Terzbandspektren berechnet und von den Schallmessungen die Vorbeifahrtspegel L_{Aeq} und die Terzbandspektren abgeleitet.
- Von den ausgewerteten Erschütterungsmessungen der Zwischenmessungen und der Nachhermessung wurden, wie für die Vorhermessung, verschiedene Differenzen berechnet, die Hinweise über das dynamische Verhalten des Gebäudes und der Ausbreitung der Wellen im Boden liefern.
- Die gemessenen Immissionen bezüglich Erschütterungen und abgestrahltem Körperschall sind relativ gering. Die einzelnen Tramvorbeifahrten sind kaum spürbar, die Schläge bei der Überfahrt der Weiche und den Isolierstössen sind über den Körperschall aber deutlich hörbar.
- Zwischen Vorher- und Nachhermessung wurden an allen Messpunkten die Differenzen als Einzahlwerte und Spektren gebildet und deren Resultate analysiert.
- Zwischen Vorher- und Nachhermessung konnte keine positive Dämmleistung der ausgeführten Massnahmen mit Injektionskörper im Bereich zwischen 2 m und 6 m Tiefe und Elastomermatte zwischen 0 m und 2 m Tiefe ausgewiesen werden, im Gegenteil, sowohl bei den Erschütterungen als auch beim Körperschall wurde eine leichte Zunahme der Immissionen registriert. Diese Zunahme kann jedoch auf die Veränderungen beim Zustand der Schienen, Isolierstösse, der Weiche und des Rollmaterials zwischen der Vorher- und Nachhermessung zurückgeführt werden. Korrigiert man dies Veränderungen, verbleiben die Immissionen etwa auf dem Niveau der Vorhermessung.

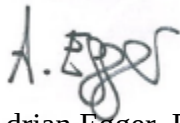
- **Durch die Auswertung der Zwischenzustände und Analyse der jeweiligen Veränderungen bei den Erschütterungen und beim Körperschall konnte nicht evaluiert werden, warum keine Dämmleistung vorhanden ist. Die Veränderungen mit den einzelnen Elementen der Massnahmen bei den Erschütterungen und beim Körperschall waren zu gering, um klare Aussagen dazu zu machen.**
- **Es ist fraglich, ob entsprechende Untersuchungen an weiteren Standorten zu einem anderen Ergebnis führen würde. Die Ergebnisse der Untersuchungen an den beiden Standorten des Pilotprojektes legen nahe, dass mit einer Massnahme dieser Art die erreichbare Dämmleistung meistens zu gering ist, um eine ausreichende, d.h. spür- und hörbare Reduktion der Immissionen zu erreichen.**

Zürich, 19. September 2023

Rev. A: 04. Oktober 2023

Rev. B: 09. Juli 2024

Rev. C: 19. September 2024



Adrian Egger, Dr. sc. nat. ETH

7. BEILAGENVERZEICHNIS

Beilage 1 (S. 34):	Messprotokolle
Beilage 2 (S. 38):	Pläne und Fotos der Messkampagne «Nachher» und während der Erstellung der Massnahmenetappen
Beilage 3 (S. 53):	Auswertung Erschütterungen Vorhermessung, Zwischenmessungen und Nachhermessung
Beilage 4 (S. 58):	Erschütterungsmessungen: Beispiele Zeitverläufe und Schmalbandspektren der Nachhermessung
Beilage 5 (S. 65):	Erschütterungsmessungen: Terzbandspektren der Zwischenmessungen und Nachhermessung
Beilage 6 (S. 90):	Erschütterungsmessungen: Ausgewählte Transferspektren der Zwischenmessungen und Nachhermessung
Beilage 7 (S. 97):	Auswertung Schall der Zwischenmessungen und Nachhermessung
Beilage 8 (S. 101):	Schallmessungen: Ausgewählte Zeitverläufe der Zwischenmessungen und Nachhermessung
Beilage 9 (S. 105):	Schallmessungen: Terzbandspektren der Zwischenmessungen und Nachhermessung
Beilage 10 (S. 112):	Zusammenfassung Terzbandspektren Erschütterungen der ganzen Vorbeifahrt aller vier Messungen
Beilage 11 (S. 119):	Differenzen Terzbandspektren Erschütterungen der vier Messungen pro Messpunkt
Beilage 12 (S. 127):	Differenzen Terzbandspektren Erschütterungen zwischen Fundament- und Aussenmesspunkten

Beilage 13 (S. 131): Differenzen Terzbandspektren Schallmessungen Zwischenmessungen und Nachher- zu Vorhermessung

Beilage 14 (S. 138): Zusammenfassung Terzbandspektren Schallmessung aller vier Messungen

Beilage 15 (S. 141): Differenzen Terzbandspektren Schallmessungen aller vier Messungen

Beilage 16 (S. 147): Detailanalyse Erschütterungsmessungen: Terzbandspektren der Nachhermessung

Beilage 17 (S. 154): Detailanalyse Erschütterungsmessungen: Ausgewählte Transferspektren der Nachhermessung

Beilage 18 (S. 157): Zusammenfassung Terzbandspektren der Detailanalyse Erschütterungen aller vier Messungen

Beilage 19 (S. 164): Differenzen Terzbandspektren Erschütterungen Detailanalyse zwischen Aussen- und Fundamentmesspunkten

Beilage 20 (S. 168): Differenzen Terzbandspektren Erschütterungen Detailanalyse zwischen Messpunkten vor und hinter der Massnahme

Beilage 21 (S. 170): Kurzbeschreibung Messgeräte

Beilage 22 (S. 173): Grundlagen / Theorie

Beilage 1:

Messprotokolle

(Total 3 Seiten)

Messprotokoll vom 6. Januar 2023

Projektname BAFU Wislenstrasse 4, Rüfenacht Erschütterungen / Körperschall				Auftrag N° 21.04321		Trombik Ingenieure AG Limmattalstrasse 344 CH - 8049 Zürich	
E- und KS-Messungen							
MESSPROTOKOLL VOM 06.01.2023				Name: PG		Seite 1	
Zug Nr.	Uhr-zeit	Zug Richtung W BernE Worb		Gleis Nr.	Geschw. keit km/h	Zugs- typ	Bemerkungen (Zug, Anz. Wagen, etc.)
-	13:02:56						Ruhemessung
1	13:22:56	x		2	20	Tram	blau (Schindler-Tram, 4-teilig)
2	13:24:43		x	1	31	Tram	blau
3	13:33:39	x		2	19	Tram	blau
4	13:34:11		x	1	35	Tram	blau
5	13:43:13	x		2	21	Tram	blau
6	13:44:32		x	1	32	Tram	rot (Combino-Tram, 7-teilig)
7	13:53:40	x		2	21	Tram	rot
8	13:54:50		x	1	37	Tram	blau
9	14:02:21	x		2	17	Tram	blau
10	14:04:55		x	1	30	Tram	blau
11	14:13:02	x		2	18	Tram	blau
12	14:13:34		x	1	31	Tram	blau
13	14:22:20	x		2	18	Tram	blau
14	14:23:04		x	1	33	Tram	rot
15	14:34:00	x		2	19	Tram	rot
16	14:34:33		x	1	33	Tram	blau
-	14:41:24						Ruhemessung
17	14:43:05	x		2	18	Tram	blau
18	14:43:42		x	1	27	Tram	blau
19	14:52:41	x		2	17	Tram	blau
20	14:55:41		x	1	38	Tram	blau
21	15:03:48	x		2	19	Tram	blau
22	15:04:35		x	1	32	Tram	blau
23	15:13:13	x		2	18	Tram	blau
24	15:13:51		x	1	33	Tram	rot
25	15:24:00	x		2	19	Tram	rot
26	15:24:35		x	1	29	Tram	blau
27	15:32:12	x		2	18	Tram	blau
28	15:34:30		x	1	30	Tram	blau
-	15:35:07						Stampfen 1.OG Büro
-	15:35:45						Stampfen 1.OG Ki.zi. West
-	15:36:19						Stampfen 1.OG Ki.zi. Ost
-	15:40:28						Stampfen EG Schlafzimmer
-	15:41:33						Stampfen EG Ki.zi.
-	15:42:32						Stampfen EG Esszimmer

Messprotokoll vom 16. Januar 2023

Projektname				Auftrag N°			Trombik Ingenieure AG	
BAFU Wislenstrasse 4, Rüfenacht				21.04321			Limmattalstrasse 344	
Erschütterungen / Körperschall				CH - 8049 Zürich				
E- und KS-Messungen								
MESSPROTOKOLL VOM 16.01.2023				Name: FG			Seite 1	
Zug Nr.	Uhr-zeit	Zug Richtung		Gleis Nr.	Geschw. keit km/h	Zugs- typ	Bemerkungen (Zug, Anz. Wagen, etc.)	
		W Bern	E Worb					
-	12:02:41						Ruhemessung	
1	12:03:16	x		2	18	Tram	blau (Schindler-Tram, 4-teilig)	
2	12:03:53		x	1	29	Tram	blau	
3	12:12:14	x		2	23	Tram	blau	
4	12:12:47		x	1	32	Tram	rot (Combino-Tram, 7-teilig)	
5	12:23:19	x		2	21	Tram	rot	
6	12:23:50		x	1	35	Tram	blau	
7	12:32:20	x		2	17	Tram	blau	
8	12:37:03		x	1	27	Tram	blau	
9	12:43:43	x		2	20	Tram	blau	
10	12:44:16		x	1	31	Tram	blau	
11	12:52:26	x		2	25	Tram	blau	
12	12:53:16		x	1	32	Tram	rot	
13	13:03:34	x		2	25	Tram	rot	
14	13:04:11		x	1	32	Tram	blau	
-	13:11:27						Ruhemessung	
15	13:12:31	x		2	24	Tram	blau	
16	13:13:18		x	1	33	Tram	blau	
-	13:18:15						Ruhemessung	
-	13:19:12						Ruhemessung	
17	13:23:14	x		2	23	Tram	blau	
18	13:23:48		x	1	33	Tram	blau	
19	13:32:44	x		2	16	Tram	blau	
20	13:33:51		x	1	36	Tram	blau	
21	13:42:58	x		2	18	Tram	blau	
22	13:43:30		x	1	33	Tram	rot	
23	14:53:00	x		2	25	Tram	rot	
24	14:53:43		x	1	35	Tram	blau	
25	14:02:23	x		2	23	Tram	blau	
26	14:04:15		x	1	29	Tram	blau	
-	14:12:58						Ruhemessung	
27	14:13:29	x		2	23	Tram	blau	
28	14:14:00		x	1	27	Tram	blau	

Messprotokoll vom 29. März 2023

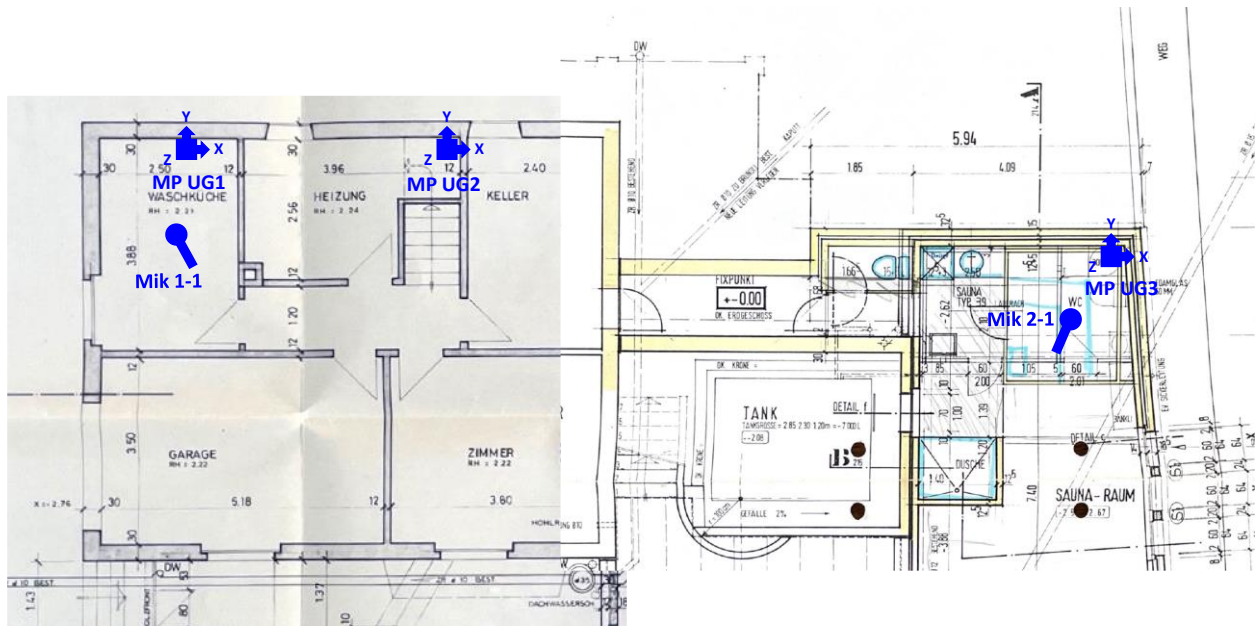
Projektname BAFU Wislenstrasse 4, Rüfenacht Erschütterungen / Körperschall				Auftrag N° 21.04321			Trombik Ingenieure AG Limmattalstrasse 344 CH - 8049 Zürich	
E- und KS-Messungen								
MESSPROTOKOLL VOM 29.03.2023				Name: FG			Seite 1	
Zug Nr.	Uhr- zeit	Zug Richtung		Gleis Nr.	Geschw. keit km/h	Zugs- typ	Bemerkungen (Zug, Anz. Wagen, etc.)	
		W Bern	E Worb					
1	13:34:00	x		2	-	Tram	blau (Schindler-Tram, 4-teilig)	
2	13:34:40		x	1	-	Tram		
3	13:43:35	x		2	20	Tram		
4	13:44:40		x	1	29	Tram		
-	13:49:40						Ruhemessung	
-	13:51:35						Ruhemessung	
5	13:53:30	x		2	26	Tram	blau	
6	13:54:10		x	1	25	Tram	blau (Angehalten)	
7	14:03:30	x		2	24	Tram	blau	
8	14:04:10		x	1	30	Tram	blau	
9	14:14:20	x		2	21	Tram	blau	
10	14:15:30		x	1	34	Tram	blau	
11	14:24:30	x		2	29	Tram	blau	
12	14:25:00		x	1	30	Tram	blau	
13	14:34:50	x		2	27	Tram	blau	
14	14:35:20		x	1	32	Tram	blau	
15	14:44:10	x		2	24	Tram	blau	
16	14:45:00		x	1	33	Tram	blau	
17	14:53:20	x		2	29	Tram	blau	
18	14:54:00		x	1	37	Tram	blau	
19	15:04:10	x		2	21	Tram	blau	
20	15:04:40		x	1	35	Tram	blau	
21	15:14:20	x		2	28	Tram	blau	
22	15:14:50		x	1	32	Tram	blau	
-	15:21:50						Ruhemessung	
23	15:23:30	x		2	19	Tram	blau	
24	15:24:00		x	1	36	Tram	blau	
25	15:34:10	x		2	19	Tram	blau	
26	15:34:20		x	1	35	Tram	blau	
27	15:43:30	x		2	24	Tram	blau	
28	15:44:40		x	1	32	Tram	blau	

Beilage 2:

Pläne und Fotos der Messkampagne «Nachher» und während der Erstellung der Massnahmenetappen

(Total 14 Seiten)

Nachhermessung: Plan und Fotos UG



Grundrissplan UG



MP UG1 + Mik 1-1: UG Waschküche

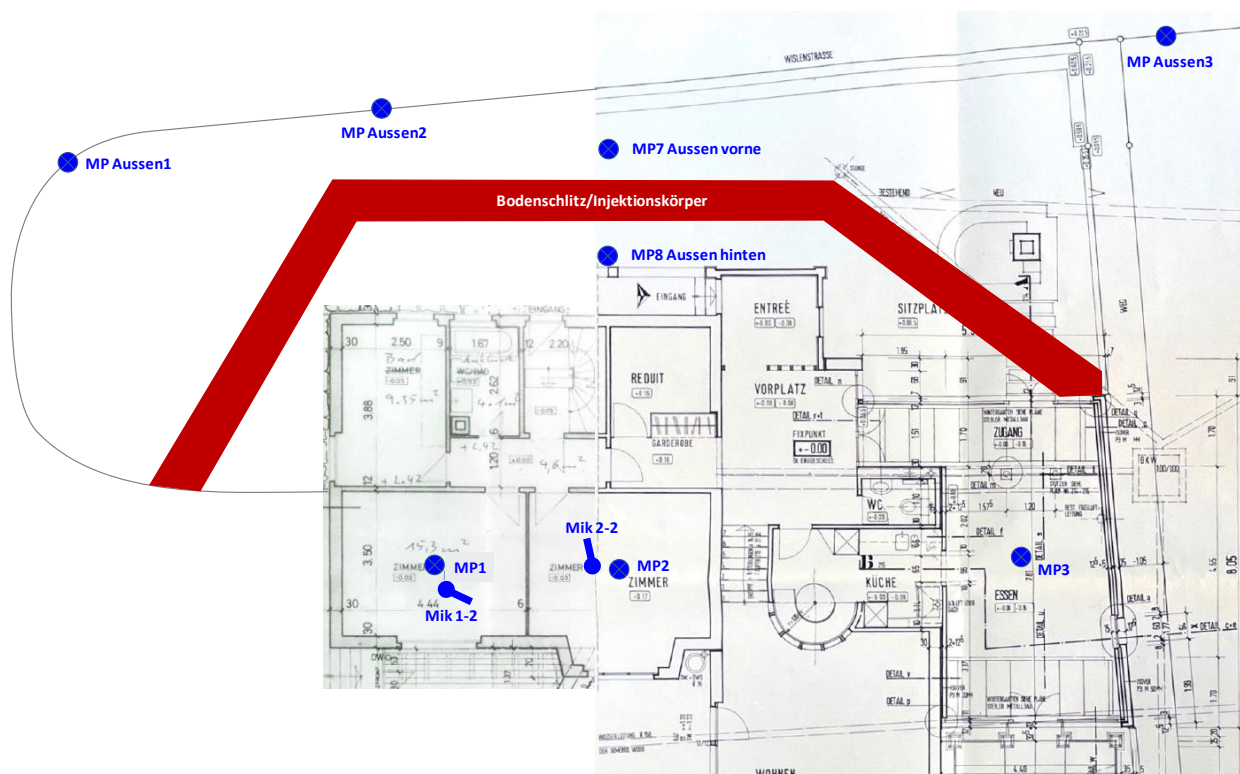


MP UG2: UG Heizung unter Treppe



MP UG3 + Mik 2-1: UG Gästezimmer

Nachhermessung: Plan und Fotos EG



Grundrissplan EG



MP Aussen1: Westseite des Hauses



MP Aussen2: Vor dem Haus gegenüber Schienenisolierstoss



MP Aussen3: Ostseite des Hauses nahe der Weiche

Fotos der zwei Aussenmesspunkte vor und hinter der Massnahme bei der Nachhermessung



MP 8 Aussen hinten und MP 7 Aussen vorne: Vor dem Haus beim verfüllten Bodenschlitz

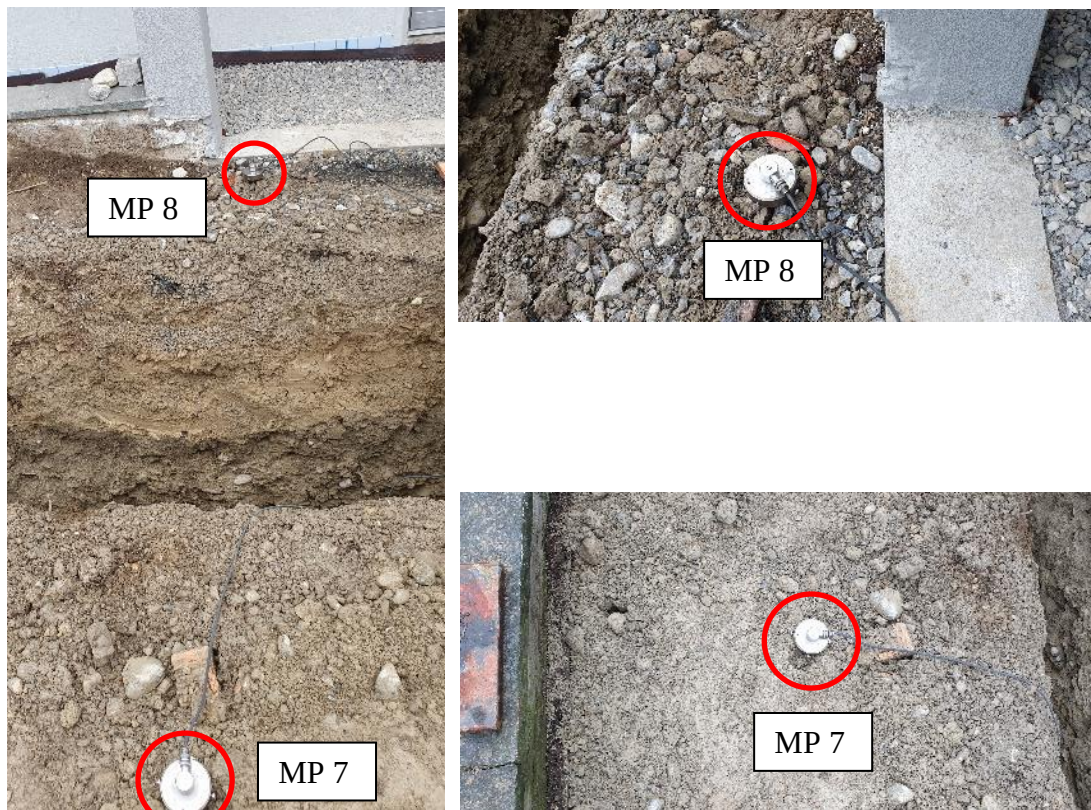


MP 8 Aussen hinten

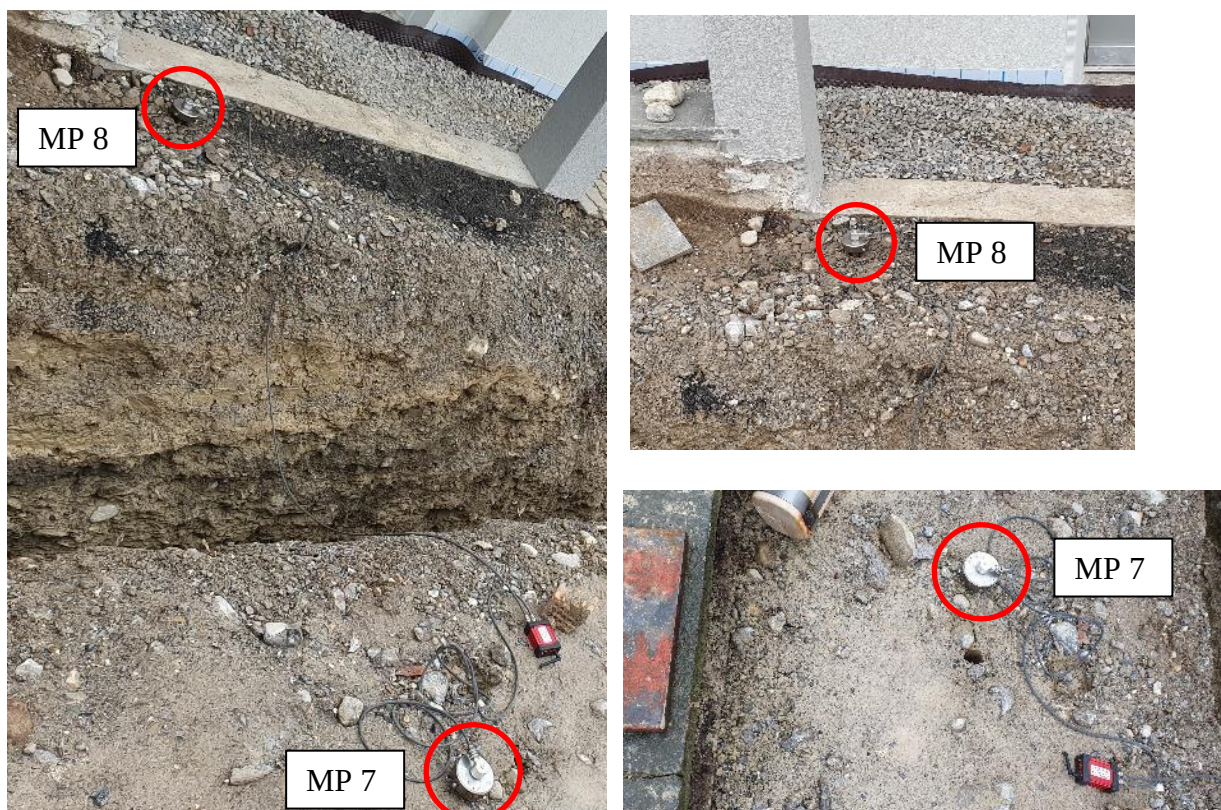


MP 7 Aussen vorne

Fotos zum Vergleich Messung 2 mit offenem Bodenschlitz und Messung 3 nach der Injektion



Messung 2: MP 8 Aussen hinten und MP 7 Aussen vorne: Vor dem Haus beim offenen Bodenschlitz



Messung 3: MP 8 Aussen hinten und MP 7 Aussen vorne: Vor dem Haus nach der Injektion



MP 1 + Mik 1-2: EG Schlafzimmer Eltern

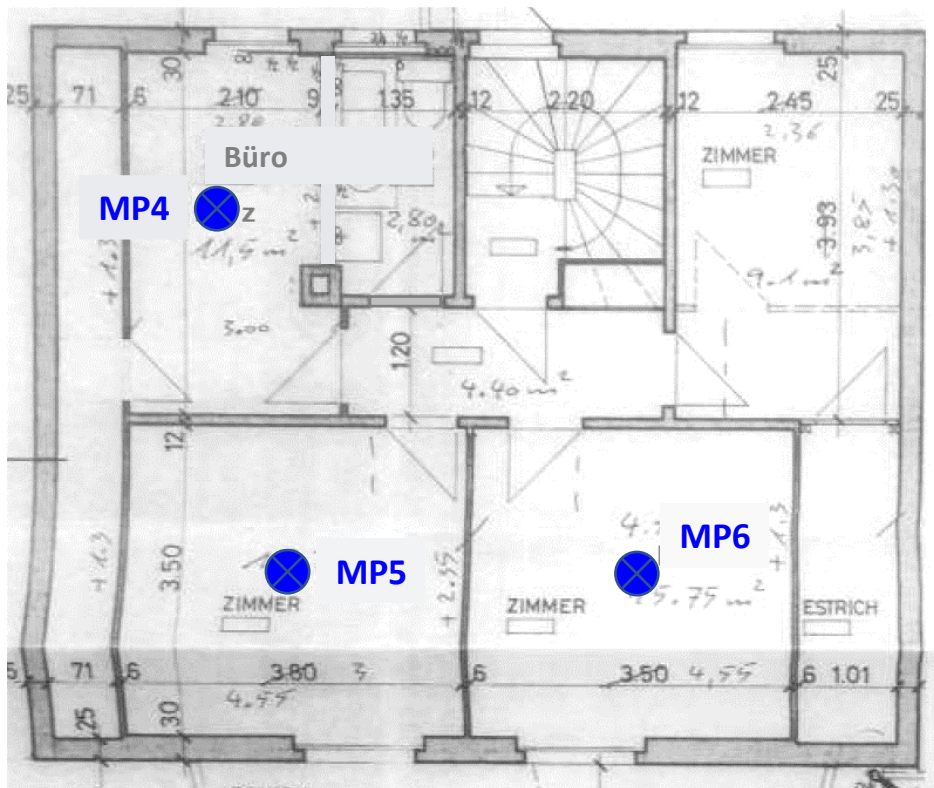


MP 2 + Mik 2-2: EG Kinderzimmer



MP 3: EG Esszimmer

Nachhermessung: Plan und Fotos 1. OG



Grundrissplan 1.OG



MP 4: 1.OG Bürozimmer



MP 5: 1.OG Kinderzimmer West



MP 6: 1.OG Kinderzimmer Ost

Fotos Erstellung Bodenschlitz mit Injektionskörper und Elastomer



Offener Bodenschlitz Ostbereich



Offener Bodenschlitz Zentraler Bereich



Offener Bodenschlitz Ostbereich Hausberührung



Offener Bodenschlitz Westbereich



Bohrung Lanzen für Injektion



Injektion Kunstharz durch Lanzen



Kunstharzaustritt der Injektion



Injektionsreihe im Westbereich



Einbringen Elastormatten auf Schaltafel



Eckstoss von Elastormatten



*Elastormatten im offenen Bodenschlitz auf dem Injektionskörper
(vor Abdeckung mit Plastikfolie)*



Verfüllter Bodenschlitz Ostbereich



Verfüllter Bodenschlitz Zentraler Bereich



Verfüllter Bodenschlitz Westbereich



Verfüllter Bodenschlitz Westbereich bei Mauer

Beilage 3:

Auswertung Erschütterungen Vorhermessung, Zwischenmessungen und Nachhermessung

(Total 4 Seiten)

Vorhermessung vom 12. November 2021 (Werte korrigiert *)

Projektname						Auftrag N°					Trombik Ingenieure AG	
BAFU Seitliche Entkopplung Wislenstr. 4, Rüfenacht						20.04321					Limmattalstrasse 344	
Erschütterungen / Körperschall											CH - 8049 Zürich	
E- und KS-Messungen												
MESSAUSWERTUNG VOM 12.11.2021						Name: AE					Seite 1	
Zug Nr.	Uhr-zeit	Zug Richtung		Gleis Nr.	Geschw. keit km/h	Zugs- typ	Schlafzi. KB _{FTi} (EG) KB	Kinderzi. KB _{FTi} (EG) KB	Esszimmer KB _{FTi} (EG) KB	Büro KB _{FTi} (1.OG) KB	Kinderzi. W KB _{FTi} (1.OG) KB	Kinderzi. E KB _{FTi} (1.OG) KB
		W Bern	E Worb									
1	13:03	x		2	30	Tram rot	0.027	0.027	0.040	0.047	0.037	0.040
2	13:03		x	1	31	Tram blau	0.032	0.040	0.049	0.056	0.057	0.073
3	13:13	x		2	33	Tram blau	0.021	0.032	0.032	0.033	0.045	0.046
4	13:14		x	1	33	Tram blau						
5	13:22	x		2	35	Tram blau	0.020	0.037	0.042	0.042	0.043	0.045
6	13:24		x	1	34	Tram blau	0.025	0.029	0.035	0.056	0.041	0.053
7	13:32	x		2	29	Tram blau						
8	13:33		x	1	35	Tram blau	0.032	0.041	0.066	0.044	0.051	0.101
9	13:42	x		2	32	Tram blau	0.019	0.029	0.034	0.042	0.046	0.050
10	13:43		x	1	32	Tram rot	0.031	0.019	0.036	0.048	0.039	0.044
11	13:53	x		2	32	Tram rot	0.021	0.027	0.040	0.039	0.046	0.054
12	13:55		x	1	29	Tram blau	0.027	0.035	0.053	0.052	0.056	0.077
13	14:03	x		2	39	Tram blau	0.034	0.044	0.036	0.048	0.060	0.053
14	14:03		x	1	37	Tram blau						
15	14:12	x		2	33	Tram blau						
16	14:13		x	1	35	Tram blau						
17	14:22	x		2	32	Tram blau						
18	14:23		x	1	28	Tram rot	0.023	0.030	0.036	0.051	0.027	0.038
19	14:34	x		2	17	Tram rot						
20	14:35		x	1	34	Tram blau	0.030	0.040	0.033	0.068	0.048	0.042
21	14:44	x		2	32	Tram blau	0.017	0.024	0.030	0.053	0.043	0.041
22	14:45		x	1	30	Tram blau	0.033	0.033	0.043	0.057	0.035	0.065
23	14:52	x		2	31	Tram blau						
24	14:54		x	1	37	Tram blau	0.031	0.036	0.079	0.048	0.073	0.075
Anzahl ausgewertet												
tot	16	KB _{FTim,tot}					0.027	0.033	0.045	0.050	0.048	0.059
Gl. 1	9	KB _{FTim,Gl.1}					0.029	0.034	0.050	0.054	0.049	0.066
Gl. 1 rot	2	KB _{FTim,Gl.1,rot}					0.027	0.025	0.036	0.049	0.034	0.041
Gl. 1 blau	7	KB _{FTim,Gl.1,blau}					0.030	0.037	0.053	0.055	0.053	0.072
Gl. 2	7	KB _{FTim,Gl.2}					0.023	0.032	0.037	0.044	0.046	0.047
Gl. 2 rot	2	KB _{FTim,Gl.2,rot}					0.024	0.027	0.040	0.043	0.042	0.048
Gl. 2 blau	5	KB _{FTim,Gl.2,blau}					0.023	0.034	0.035	0.044	0.048	0.047
Max		KB _{Fmax,tot}					0.034	0.044	0.079	0.068	0.073	0.101
Gl. 1		KB _{Fmax,Gl.1}					0.033	0.041	0.079	0.068	0.073	0.101
Gl. 1 rot		KB _{Fmax,Gl.1,rot}					0.031	0.030	0.036	0.051	0.039	0.044
Gl. 1 blau		KB _{Fmax,Gl.1,blau}					0.033	0.041	0.079	0.068	0.073	0.101
Gl. 2		KB _{Fmax,Gl.2}					0.034	0.044	0.042	0.053	0.060	0.054
Gl. 2 rot		KB _{Fmax,Gl.2,rot}					0.027	0.027	0.040	0.047	0.046	0.054
Gl. 2 blau		KB _{Fmax,Gl.2,blau}					0.034	0.044	0.042	0.053	0.060	0.053

*) Eliminierung der Auswirkungen der elektrischen Störimpulse bei einzelnen Tramvorbeifahrten gegenüber der Vorstudie von 2021 zum Pilotprojekt

2. Messung (offener Bodenschlitz) vom 6. Januar 2023

Projektname BAFU Wislenstrasse 4, Rüfenacht Erschütterungen / Körperschall							Auftrag N° 20.04321			Trombik Ingenieure AG Limmattalstrasse 344 CH - 8049 Zürich		
E- und KS-Messungen												
MESSAUSWERTUNG VOM 06.01.2023							Name: AE			Seite 1		
Zug Nr.	Uhr-zeit	Zug Richtung W BernE Worb		Gleis Nr.	Geschw. keit km/h	Zugs- typ	Schlafzi. KB _{FTi} (EG) KB	Kinderzi. KB _{FTi} (EG) KB	Esszimmer KB _{FTi} (EG) KB	Büro KB _{FTi} (1.OG) KB	Kinderzi. W KB _{FTi} (1.OG) KB	Kinderzi. E KB _{FTi} (1.OG) KB
1	13:22:56	x		2	20	Tram blau	0.020	0.022	0.032	0.046	0.032	0.040
2	13:24:43		x	1	31	Tram blau						
3	13:33:39	x		2	19	Tram blau	0.018	0.020	0.030	0.042	0.025	0.029
4	13:34:11		x	1	35	Tram blau						
5	13:43:13	x		2	21	Tram blau						
6	13:44:32		x	1	32	Tram rot	0.022	0.029	0.042	0.033	0.041	0.076
7	13:53:40	x		2	21	Tram rot	0.021	0.032	0.046	0.037	0.036	0.057
8	13:54:50		x	1	37	Tram blau	0.027	0.041	0.054	0.059	0.045	0.084
9	14:02:21	x		2	17	Tram blau	0.016	0.031	0.026	0.054	0.032	0.039
10	14:04:55		x	1	30	Tram blau	0.028	0.036	0.048	0.060	0.042	0.075
11	14:13:02	x		2	18	Tram blau	0.023	0.027	0.032	0.074	0.047	0.040
12	14:13:34		x	1	31	Tram blau	0.022	0.035	0.049	0.057	0.043	0.062
13	14:22:20	x		2	18	Tram blau	0.019	0.021	0.033	0.040	0.043	0.035
14	14:23:04		x	1	33	Tram rot	0.036	0.024	0.045	0.044	0.055	0.074
15	14:34:00	x		2	19	Tram rot						
16	14:34:33		x	1	33	Tram blau	0.024	0.034	0.041	0.066	0.045	0.061
17	14:43:05	x		2	18	Tram blau						
18	14:43:42		x	1	27	Tram blau	0.025	0.029	0.040	0.057	0.048	0.047
19	14:52:41	x		2	17	Tram blau						
20	14:55:41		x	1	38	Tram blau	0.025	0.036	0.037	0.062	0.048	0.055
21	15:03:48	x		2	19	Tram blau						
22	15:04:35		x	1	32	Tram blau						
23	15:13:13	x		2	18	Tram blau						
24	15:13:51		x	1	33	Tram rot						
25	15:24:00	x		2	19	Tram rot						
26	15:24:35		x	1	29	Tram blau	0.023	0.030	0.052	0.059	0.051	0.068
27	15:32:12	x		2	18	Tram blau						
28	15:34:30		x	1	30	Tram blau	0.025	0.040	0.039	0.067	0.040	0.058
Anzahl ausgewertet												
tot		16	KB _{FTim,tot}				0.024	0.031	0.041	0.055	0.043	0.059
Gl. 1		10	KB _{FTim,Gl.1}				0.026	0.034	0.045	0.057	0.046	0.067
Gl. 1 rot		2	KB _{FTim,Gl.1,rot}				0.030	0.027	0.044	0.039	0.049	0.075
Gl. 1 blau		8	KB _{FTim,Gl.1,blau}				0.025	0.035	0.045	0.061	0.045	0.065
Gl. 2		6	KB _{FTim,Gl.2}				0.020	0.026	0.034	0.051	0.037	0.041
Gl. 2 rot		1	KB _{FTim,Gl.2,rot}				0.021	0.032	0.046	0.037	0.036	0.057
Gl. 2 blau		5	KB _{FTim,Gl.2,blau}				0.019	0.025	0.031	0.053	0.037	0.037
Max			KB _{Fmax,tot}				0.036	0.041	0.054	0.074	0.055	0.084
Gl. 1			KB _{Fmax,Gl.1}				0.036	0.041	0.054	0.067	0.055	0.084
Gl. 1 rot			KB _{Fmax,Gl.1,rot}				0.036	0.029	0.045	0.044	0.055	0.076
Gl. 1 blau			KB _{Fmax,Gl.1,blau}				0.028	0.041	0.054	0.067	0.051	0.084
Gl. 2			KB _{Fmax,Gl.2}				0.023	0.032	0.046	0.074	0.047	0.057
Gl. 2 rot			KB _{Fmax,Gl.2,rot}				0.021	0.032	0.046	0.037	0.036	0.057
Gl. 2 blau			KB _{Fmax,Gl.2,blau}				0.023	0.031	0.033	0.074	0.047	0.040

3. Messung (nach der Injektion) vom 16. Januar 2023

Projektname BAFU Wissenstrasse 4, Rüfenacht Erschütterungen / Körperschall						Auftrag N° 20.04321				Trombik Ingenieure AG Limmattalstrasse 344 CH - 8049 Zürich				
E- und KS-Messungen														
MESSAUSWERTUNG VOM 16.01.2023						Name: AE				Seite 1				
Zug Nr.	Uhr- zeit	Zug Richtung		Gleis Nr.	Geschw. keit km/h	Zugs- typ	Schlafzi. KB _{FTi} (EG) KB	Kinderzi. KB _{FTi} (EG) KB	Esszimmer KB _{FTi} (EG) KB	Büro KB _{FTi} (1.OG) KB	Kinderzi. W KB _{FTi} (1.OG) KB	Kinderzi. E KB _{FTi} (1.OG) KB		
		W Bern	E Worb											
1	12:03:16	x		2	18	Tram blau								
2	12:03:53		x	1	29	Tram blau								
3	12:12:14	x		2	23	Tram blau								
4	12:12:47		x	1	32	Tram rot								
5	12:23:19	x		2	21	Tram rot	0.025	0.029	0.029	0.020	0.024	0.049		
6	12:23:50		x	1	35	Tram blau								
7	12:32:20	x		2	17	Tram blau								
8	12:37:03		x	1	27	Tram blau	0.026	0.038	0.041	0.041	0.047	0.059		
9	12:43:43	x		2	20	Tram blau	0.027	0.039	0.040	0.031	0.044	0.035		
10	12:44:16		x	1	31	Tram blau	0.025	0.038	0.058	0.045	0.057	0.087		
11	12:52:26	x		2	25	Tram blau	0.054	0.041	0.027	0.084	0.045	0.059		
12	12:53:16		x	1	32	Tram rot								
13	13:03:34	x		2	25	Tram rot	0.025	0.028	0.034	0.019	0.036	0.045		
14	13:04:11		x	1	32	Tram blau	0.024	0.032	0.049	0.043	0.051	0.044		
15	13:12:31	x		2	24	Tram blau								
16	13:13:18		x	1	33	Tram blau	0.029	0.041	0.051	0.054	0.057	0.071		
17	13:23:14	x		2	23	Tram blau	0.018	0.021	0.024	0.038	0.029	0.044		
18	13:23:48		x	1	33	Tram blau	0.030	0.058	0.057	0.051	0.046	0.076		
19	13:32:44	x		2	16	Tram blau	0.018	0.028	0.033	0.033	0.052	0.038		
20	13:33:51		x	1	36	Tram blau	0.027	0.032	0.045	0.040	0.043	0.059		
21	13:42:58	x		2	18	Tram blau								
22	13:43:30		x	1	33	Tram rot	0.024	0.036	0.037	0.025	0.032	0.052		
23	14:53:00	x		2	25	Tram rot	0.020	0.039	0.036	0.022	0.027	0.057		
24	14:53:43		x	1	35	Tram blau								
25	14:02:23	x		2	23	Tram blau								
26	14:04:15		x	1	29	Tram blau	0.027	0.033	0.042	0.039	0.031	0.046		
27	14:13:29	x		2	23	Tram blau	0.021	0.030	0.031	0.034	0.053	0.034		
28	14:14:00		x	1	27	Tram blau								
Anzahl ausgewertet														
tot							16	KB _{FTim,tot}	0.027	0.036	0.041	0.042	0.043	0.055
Gl. 1							8	KB _{FTim,Gl.1}	0.027	0.039	0.048	0.043	0.047	0.063
Gl. 1 rot							1	KB _{FTim,Gl.1,rot}	0.024	0.036	0.037	0.025	0.032	0.052
Gl. 1 blau							7	KB _{FTim,Gl.1,blau}	0.027	0.040	0.049	0.045	0.048	0.065
Gl. 2							8	KB _{FTim,Gl.2}	0.028	0.033	0.032	0.040	0.040	0.046
Gl. 2 rot							3	KB _{FTim,Gl.2,rot}	0.023	0.032	0.033	0.020	0.029	0.051
Gl. 2 blau							5	KB _{FTim,Gl.2,blau}	0.031	0.033	0.031	0.049	0.045	0.043
Max								KB _{Fmax,tot}	0.054	0.058	0.058	0.084	0.057	0.087
Gl. 1								KB _{Fmax,Gl.1}	0.030	0.058	0.058	0.054	0.057	0.087
Gl. 1 rot								KB _{Fmax,Gl.1,rot}	0.024	0.036	0.037	0.025	0.032	0.052
Gl. 1 blau								KB _{Fmax,Gl.1,blau}	0.030	0.058	0.058	0.054	0.057	0.087
Gl. 2								KB _{Fmax,Gl.2}	0.054	0.041	0.040	0.084	0.053	0.059
Gl. 2 rot								KB _{Fmax,Gl.2,rot}	0.025	0.039	0.036	0.022	0.036	0.057
Gl. 2 blau								KB _{Fmax,Gl.2,blau}	0.054	0.041	0.040	0.084	0.053	0.059

Nachhermessung vom 29. März 2023

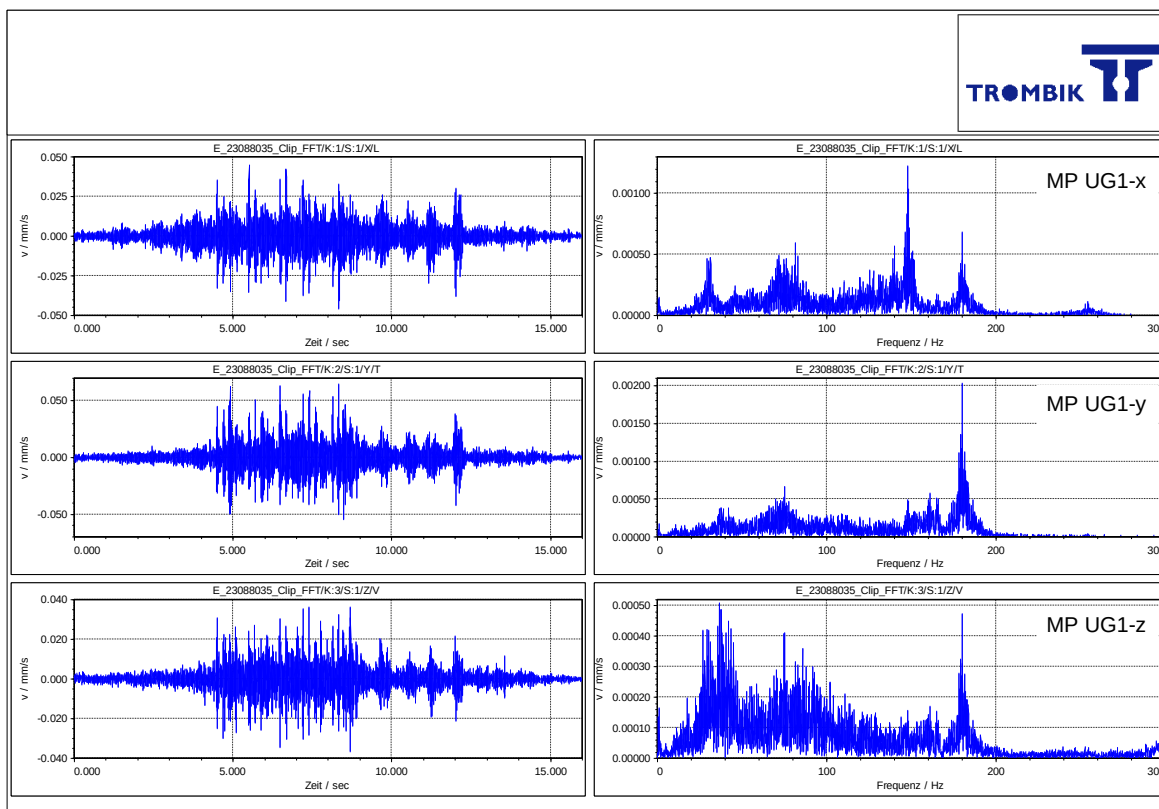
Projektname BAFU Wissenstrasse 4, Rüfenacht Erschütterungen / Körperschall						Auftrag N° 20.04321				Trombik Ingenieure AG Limmattalstrasse 344 CH - 8049 Zürich		
E- und KS-Messungen												
MESSAUSWERTUNG VOM 29.03.2023						Name: AE				Seite 1		
Zug Nr.	Uhr- zeit	Zug Richtung		Gleis Nr.	Geschw. keit km/h	Zugs- typ	Schlafzi. KB _{FTi} (EG) KB	Kinderzi. KB _{FTi} (EG) KB	Esszimmer KB _{FTi} (EG) KB	Büro KB _{FTi} (1.OG) KB	Kinderzi. W KB _{FTi} (1.OG) KB	Kinderzi. E KB _{FTi} (1.OG) KB
W Bern	E Worb											
1	13:34:00	x		2	-	Tram blau	0.017	0.018	0.024	0.036	0.026	0.034
2	13:34:40		x	1	-	Tram blau	0.031	0.044	0.053	0.117	0.069	0.079
3	13:43:35	x		2	20	Tram blau						
4	13:44:40		x	1	29	Tram blau						
5	13:53:30	x		2	26	Tram blau	0.025	0.029	0.034	0.064	0.032	0.036
6	13:54:10		x	1	25	Tram blau						
7	14:03:30	x		2	24	Tram blau						
8	14:04:10		x	1	30	Tram blau	0.029	0.043	0.065	0.072	0.065	0.046
9	14:14:20	x		2	21	Tram blau						
10	14:15:30		x	1	34	Tram blau						
11	14:24:30	x		2	29	Tram blau	0.026	0.029	0.029	0.041	0.044	0.032
12	14:25:00		x	1	30	Tram blau	0.033	0.048	0.057	0.059	0.070	0.051
13	14:34:50	x		2	27	Tram blau	0.020	0.020	0.029	0.056	0.029	0.038
14	14:35:20		x	1	32	Tram blau						
15	14:44:10	x		2	24	Tram blau						
16	14:45:00		x	1	33	Tram blau						
17	14:53:20	x		2	29	Tram blau	0.016	0.027	0.034	0.039	0.034	0.030
18	14:54:00		x	1	37	Tram blau	0.027	0.035	0.054	0.058	0.046	0.068
19	15:04:10	x		2	21	Tram blau						
20	15:04:40		x	1	35	Tram blau	0.032	0.039	0.061	0.067	0.050	0.058
21	15:14:20	x		2	28	Tram blau	0.021	0.025	0.029	0.051	0.030	0.031
22	15:14:50		x	1	32	Tram blau	0.029	0.038	0.043	0.040	0.053	0.033
23	15:23:30	x		2	19	Tram blau						
24	15:24:00		x	1	36	Tram blau	0.026	0.036	0.061	0.041	0.046	0.061
25	15:34:10	x		2	19	Tram blau	0.020	0.049	0.034	0.039	0.045	0.037
26	15:34:20		x	1	35	Tram blau						
27	15:43:30	x		2	24	Tram blau	0.018	0.033	0.029	0.042	0.037	0.039
28	15:44:40		x	1	32	Tram blau	0.033	0.037	0.052	0.072	0.044	0.058
Anzahl ausgewertet												
tot	16	KB _{FTim,tot}					0.026	0.035	0.045	0.059	0.047	0.048
Gl. 1	8	KB _{FTim,Gl.1}					0.030	0.040	0.056	0.069	0.056	0.058
Gl. 1 rot	0	KB _{FTim,Gl.1,rot}					-	-	-	-	-	-
Gl. 1 blau	8	KB _{FTim,Gl.1,blau}					0.030	0.040	0.056	0.069	0.056	0.058
Gl. 2	8	KB _{FTim,Gl.2}					0.021	0.030	0.030	0.047	0.035	0.035
Gl. 2 rot	0	KB _{FTim,Gl.2,rot}					-	-	-	-	-	-
Gl. 2 blau	8	KB _{FTim,Gl.2,blau}					0.021	0.030	0.030	0.047	0.035	0.035
Max		KB _{Fmax,tot}					0.033	0.049	0.065	0.117	0.070	0.079
Gl. 1		KB _{Fmax,Gl.1}					0.033	0.048	0.065	0.117	0.070	0.079
Gl. 1 rot		KB _{Fmax,Gl.1,rot}					-	-	-	-	-	-
Gl. 1 blau		KB _{Fmax,Gl.1,blau}					0.033	0.048	0.065	0.117	0.070	0.079
Gl. 2		KB _{Fmax,Gl.2}					0.026	0.049	0.034	0.064	0.045	0.039
Gl. 2 rot		KB _{Fmax,Gl.2,rot}					-	-	-	-	-	-
Gl. 2 blau		KB _{Fmax,Gl.2,blau}					0.026	0.049	0.034	0.064	0.045	0.039

Beilage 4:

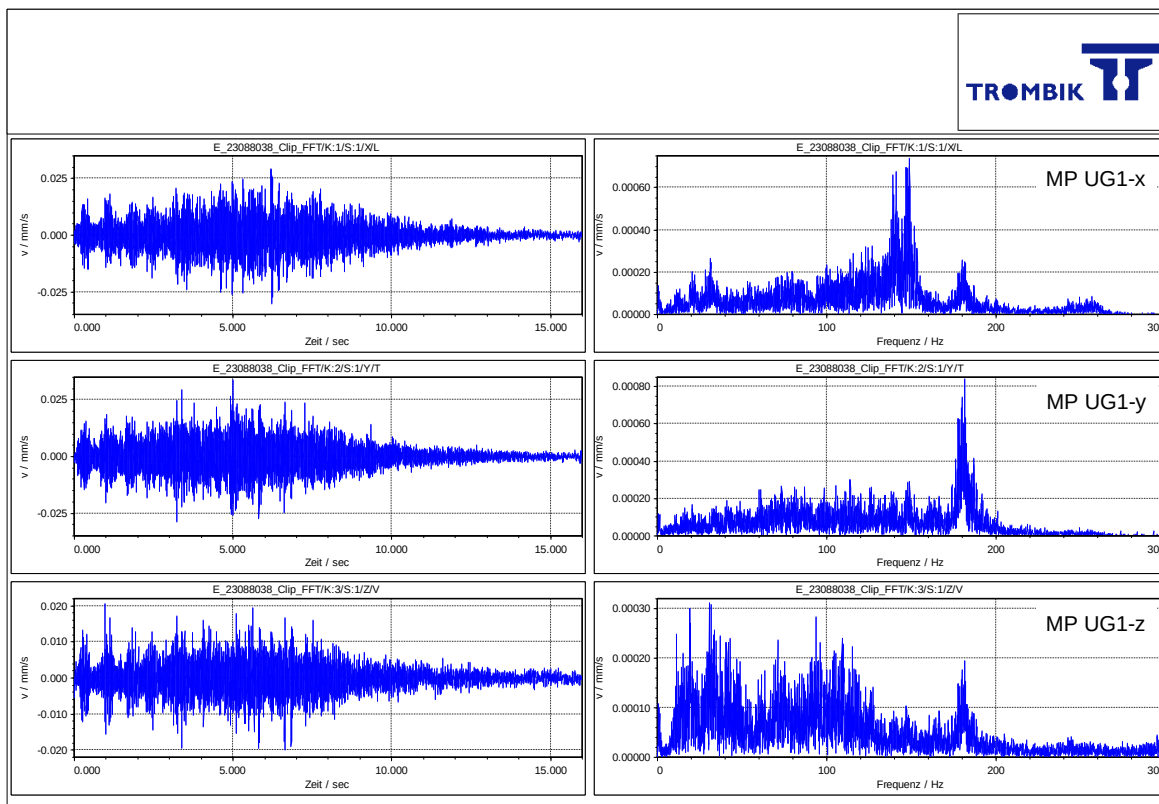
Erschütterungsmessungen: Beispiele Zeitverläufe und Schmalbandspektren der Nachhermessung

(Total 6 Seiten)

Ausgewählte Zeitverläufe und Schmalbandspektren

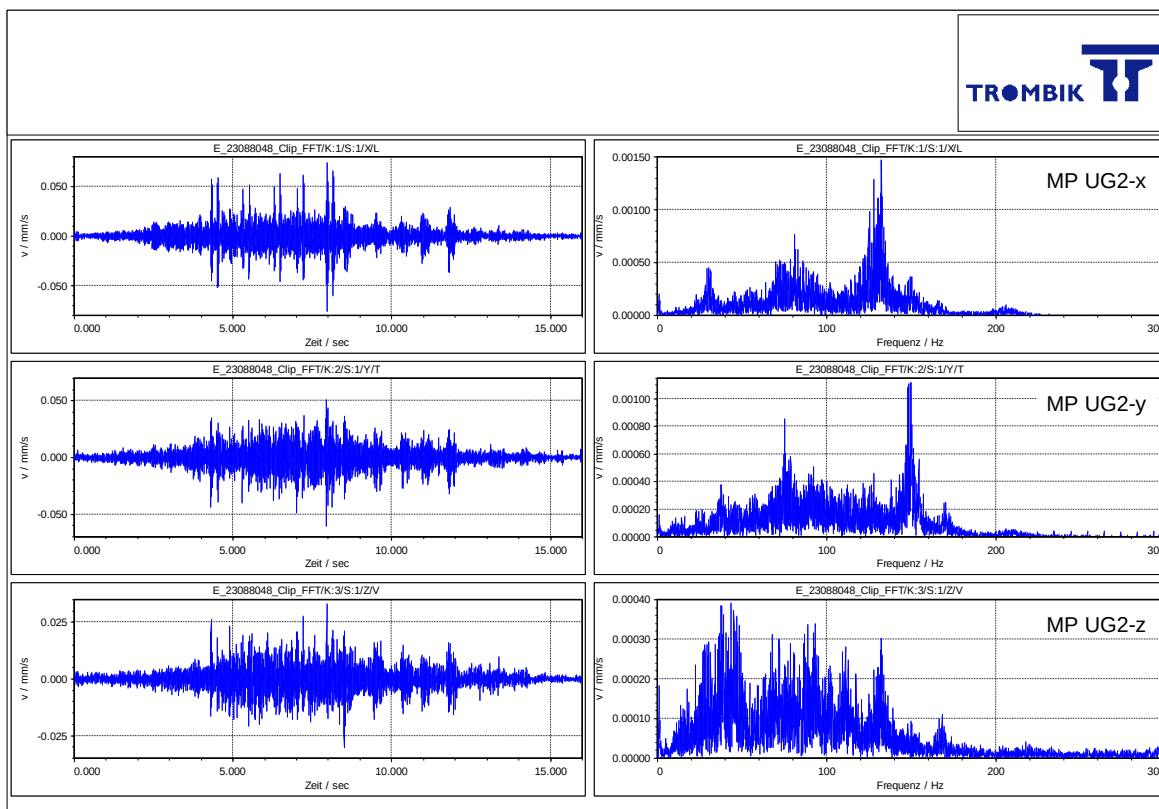


MP UG1, x-, y-, z-Komp. für Tram um 14:04 Uhr auf Gleis 1

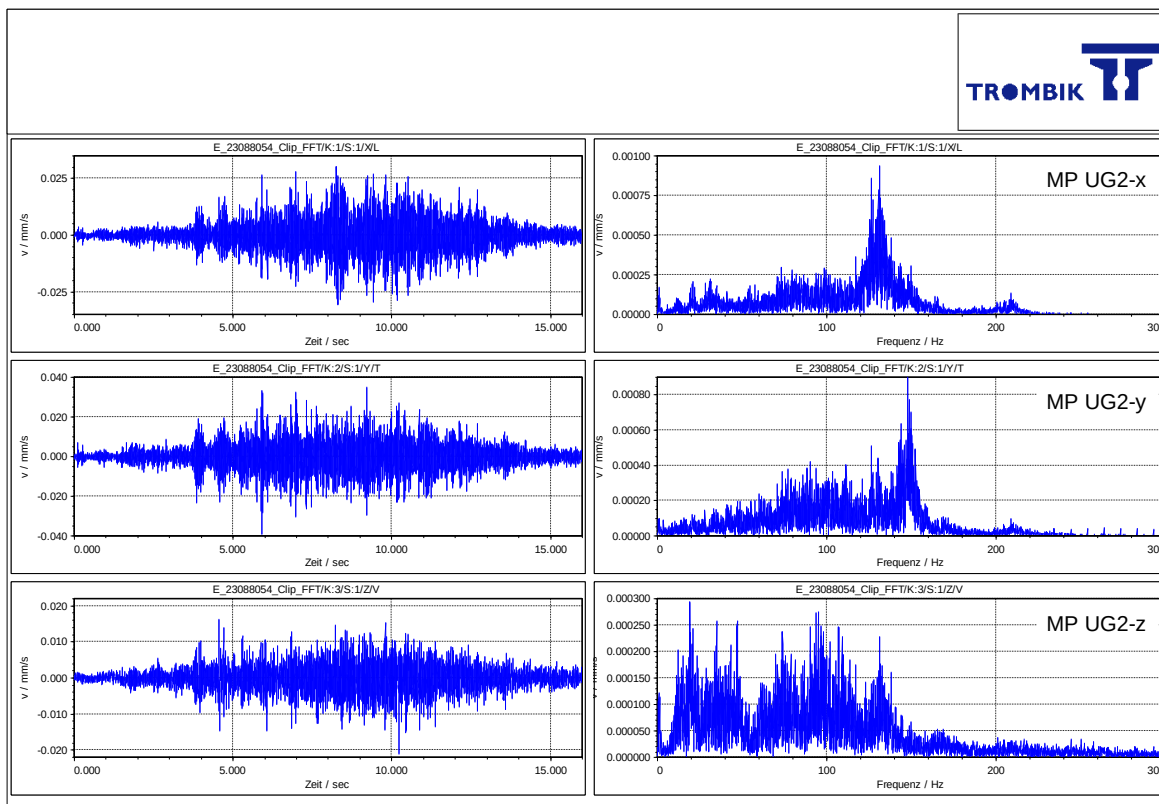


MP UG1, x-, y-, z-Komp. für Tram um 14:24 Uhr auf Gleis 2

Ausgewählte Zeitverläufe und Schmalbandspektren

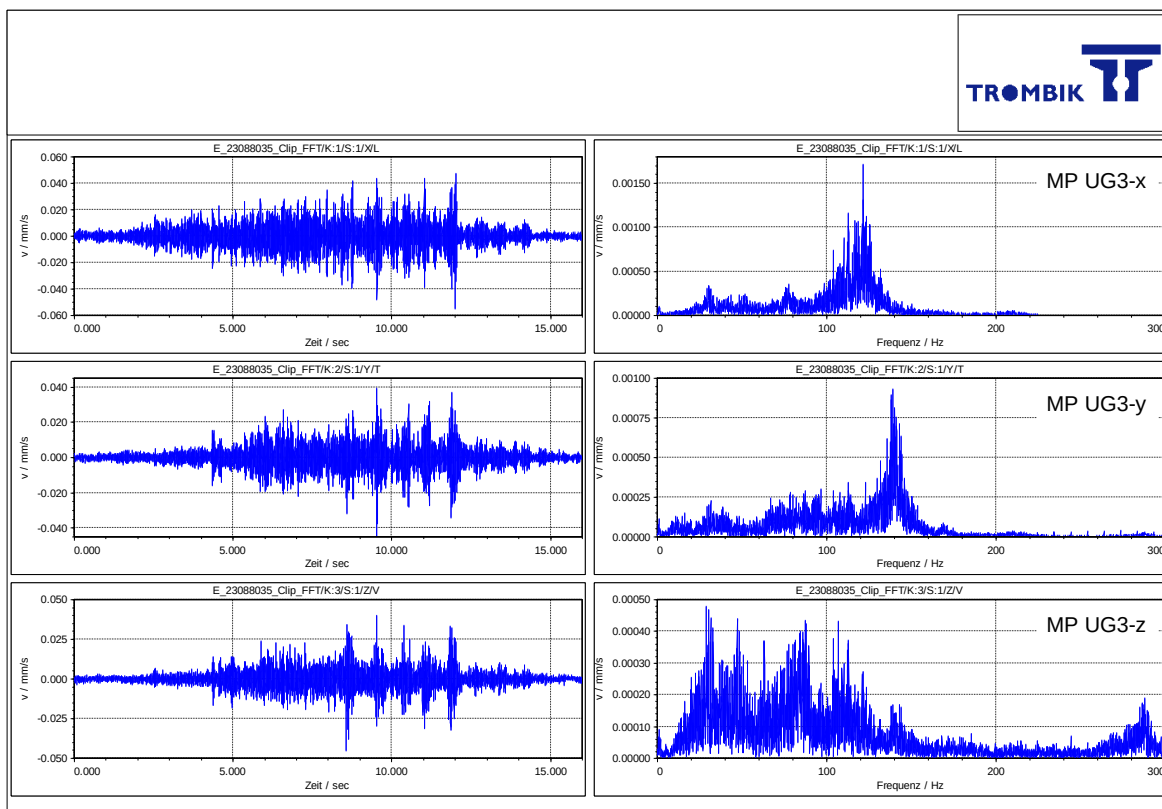


MP UG2, x-, y-, z-Komp. für Tram um 14:04 Uhr auf Gleis 1

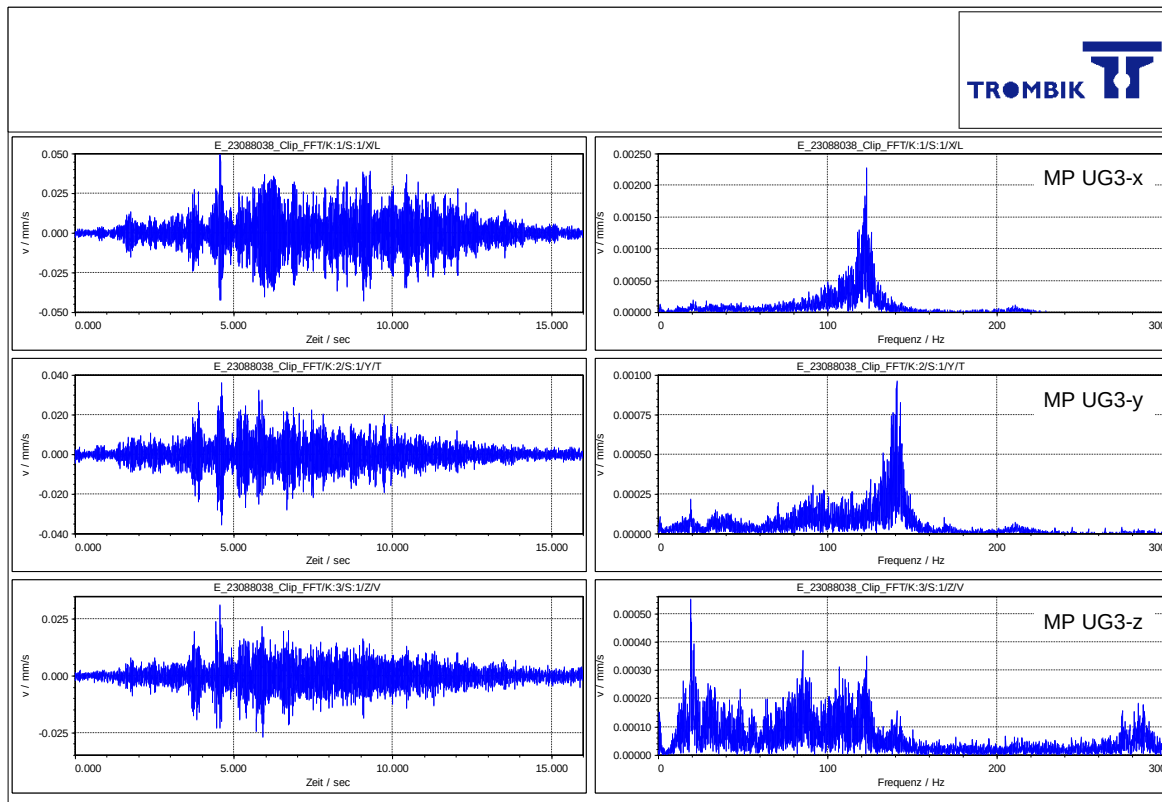


MP UG2, x-, y-, z-Komp. für Tram um 14:24 Uhr auf Gleis 2

Ausgewählte Zeitverläufe und Schmalbandspektren

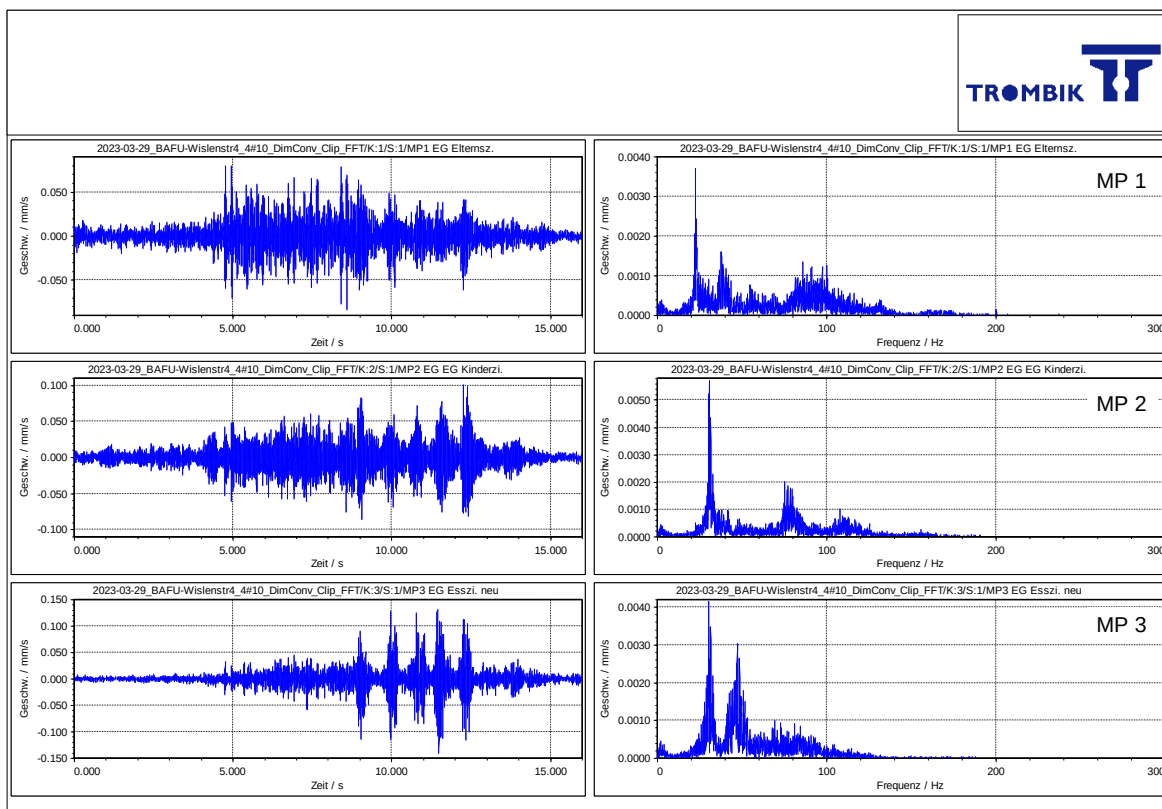


MP UG3, x-, y-, z-Komp. für Tram um 14:04 Uhr auf Gleis 1

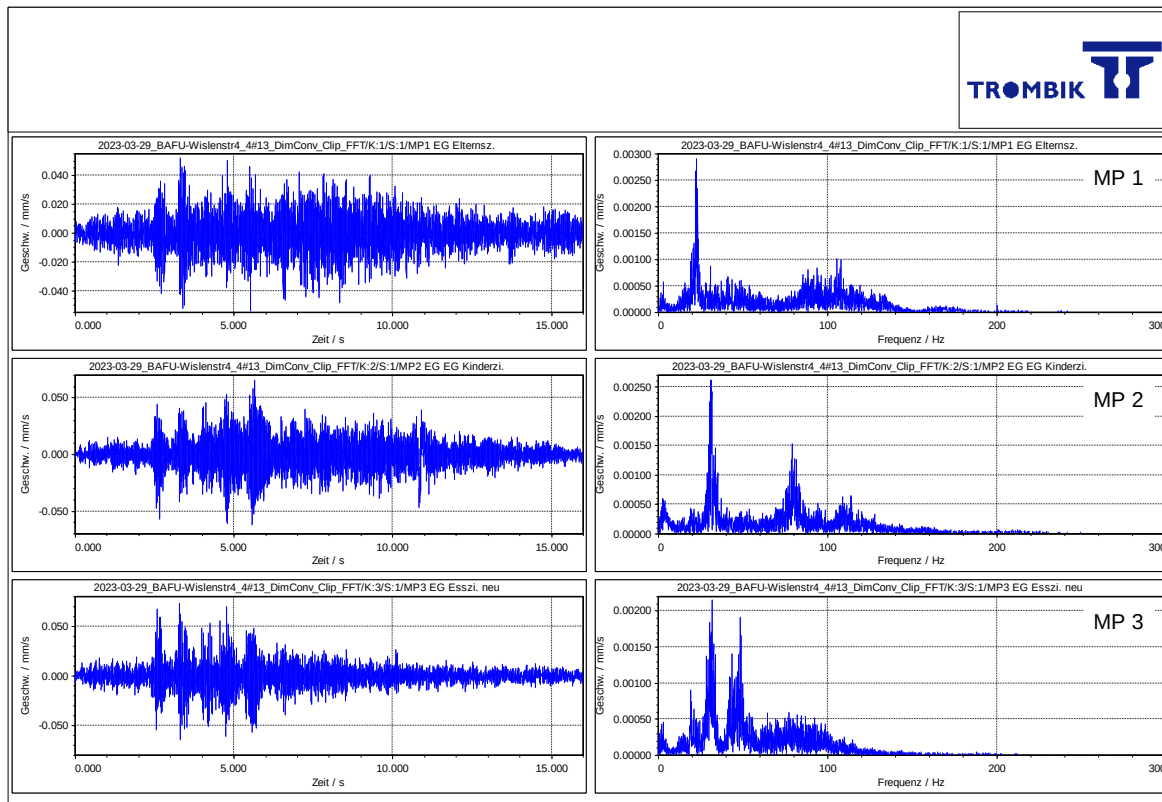


MP UG3, x-, y-, z-Komp. für Tram um 14:24 Uhr auf Gleis 2

Ausgewählte Zeitverläufe und Schmalbandspektren

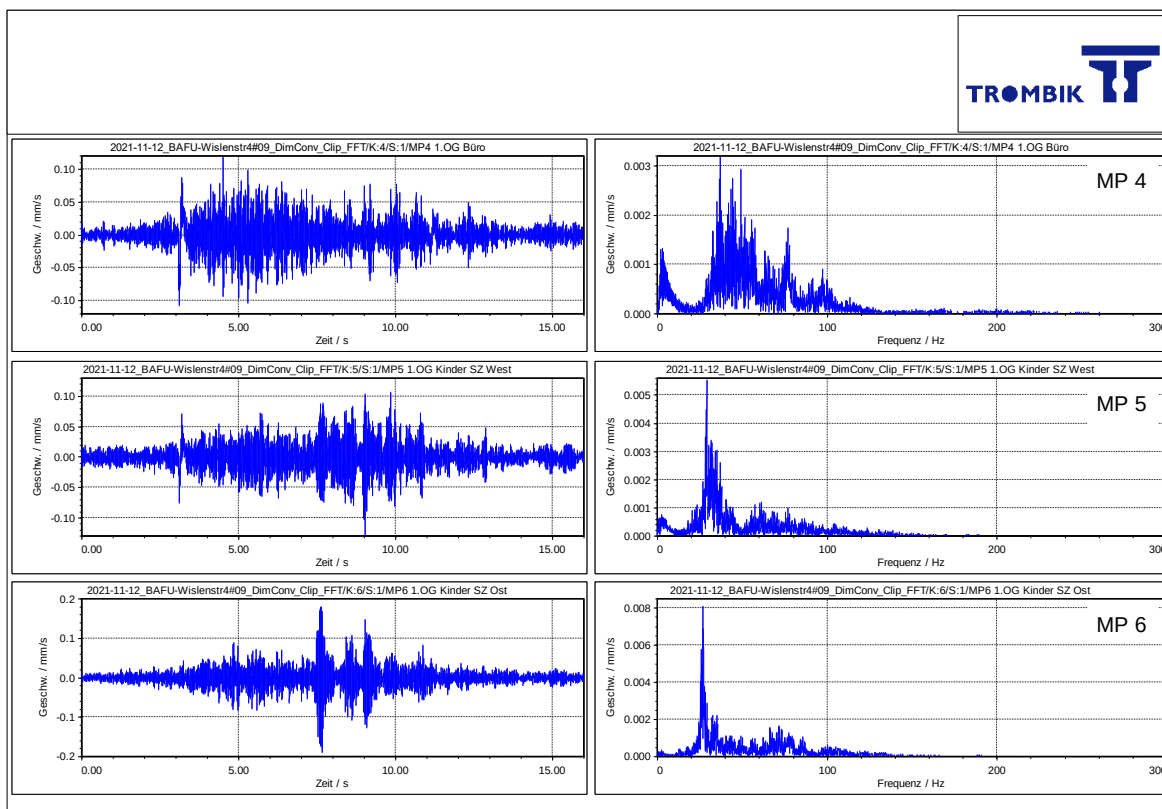


Erdgeschoss MP 1-3, z-Komp. für Tram um 14:04 Uhr auf Gleis 1

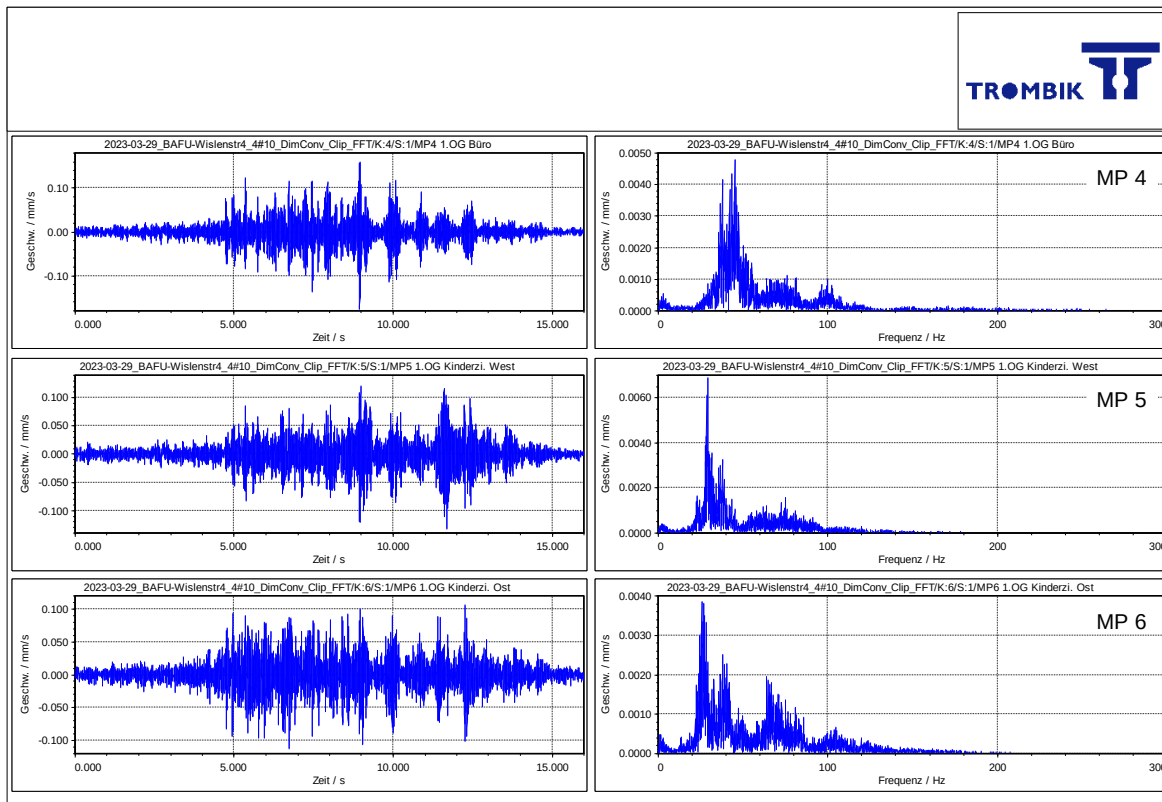


Erdgeschoss MP 1-3, z-Komp. für Tram um 14:24 Uhr auf Gleis 2

Ausgewählte Zeitverläufe und Schmalbandspektren

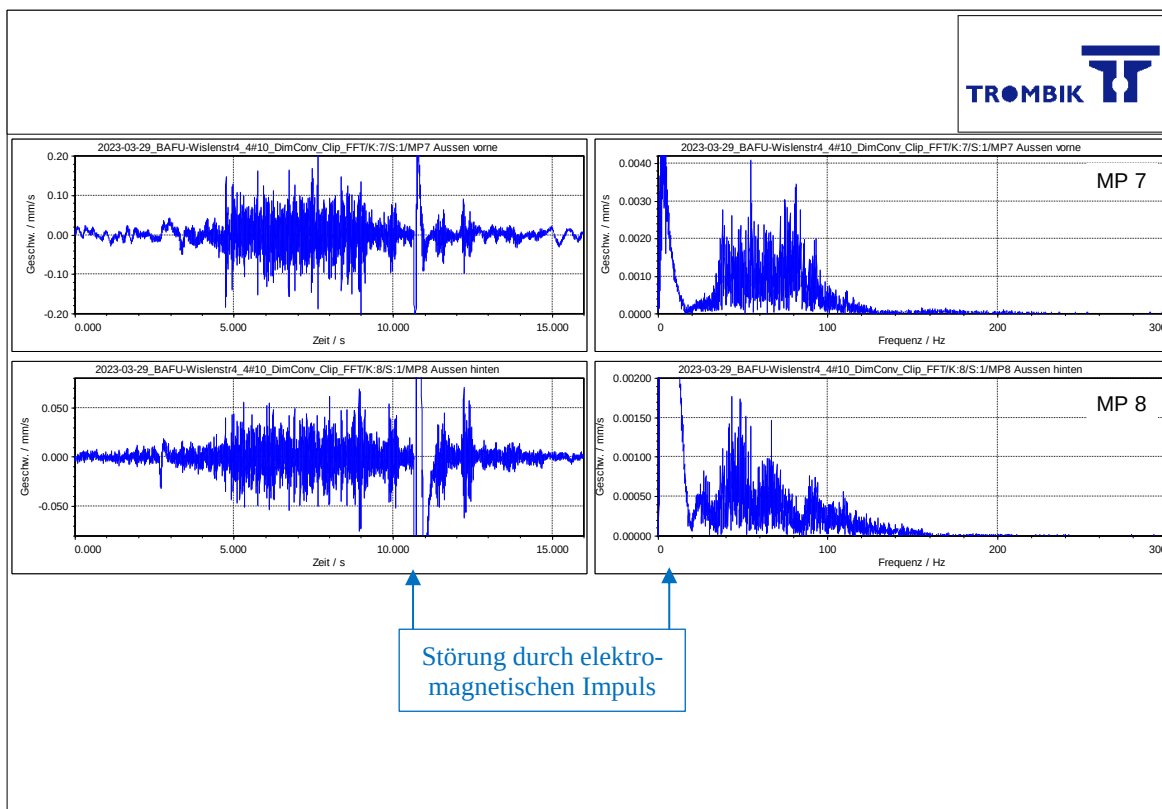


1. Obergeschoss MP 4-6, z-Komp. für Tram um 14:04 Uhr auf Gleis 1

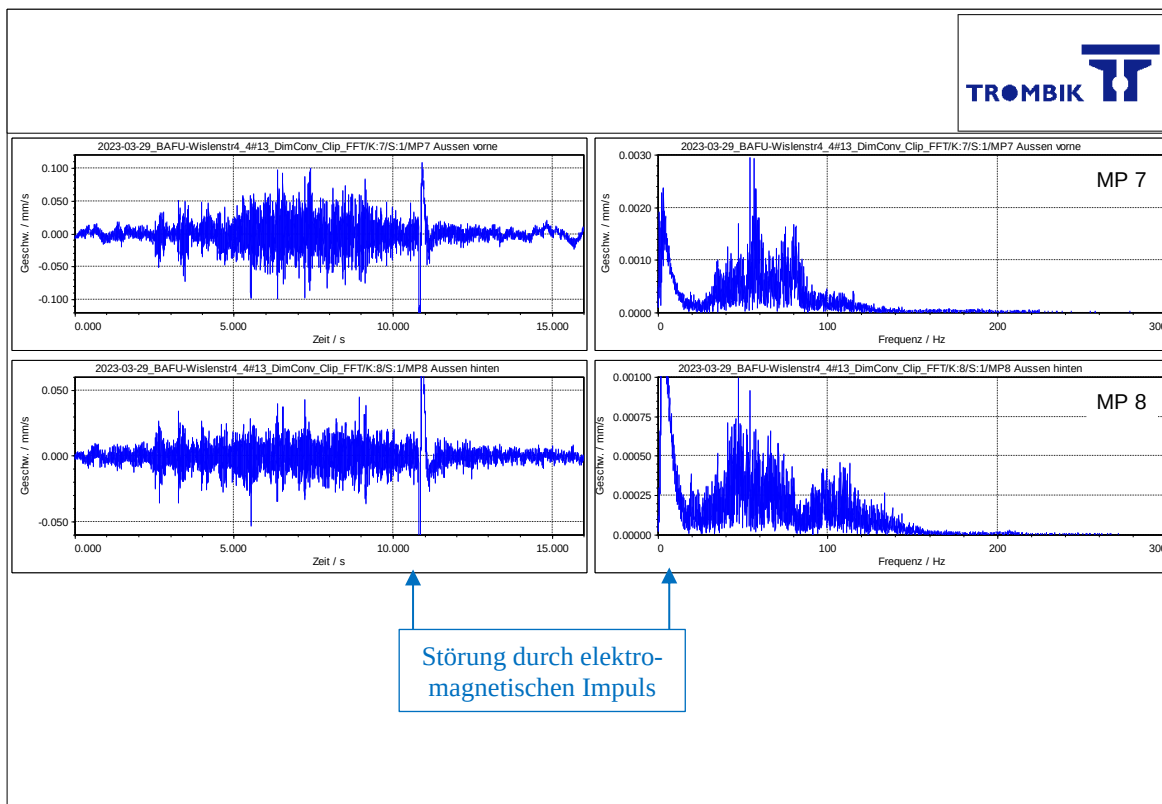


1. Obergeschoss MP 4-6, z-Komp. für Tram um 14:24 Uhr auf Gleis 2

Ausgewählte Zeitverläufe und Schmalbandspektren



Erdgeschoss MP 7-8, z-Komp. für Tram um 14:04 Uhr auf Gleis 1



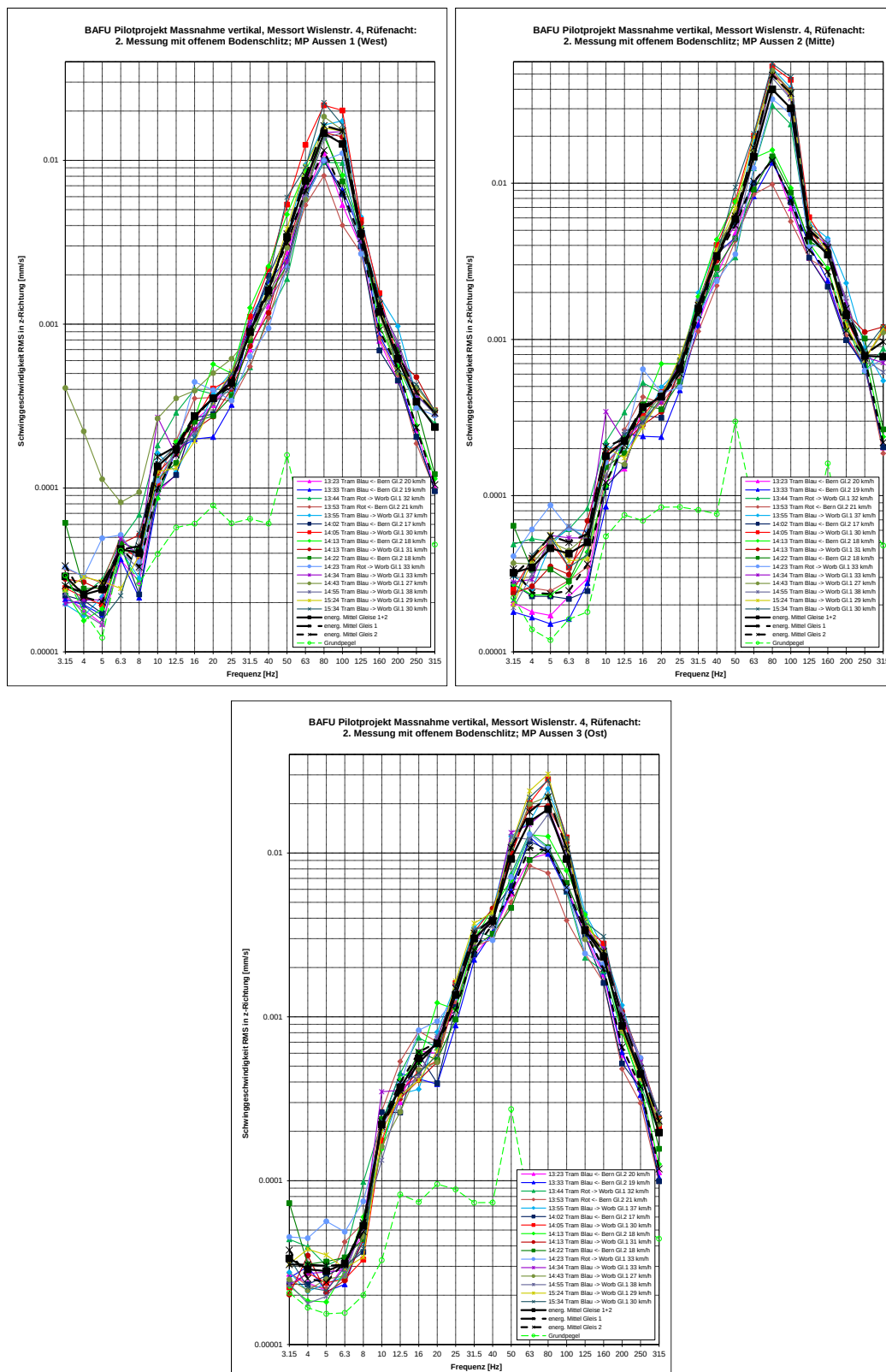
Erdgeschoss MP 7-8, z-Komp. für Tram um 14:24 Uhr auf Gleis 2

Beilage 5:

Erschütterungsmessungen: Terzbandspektren der Zwischenmessungen und Nachhermessung

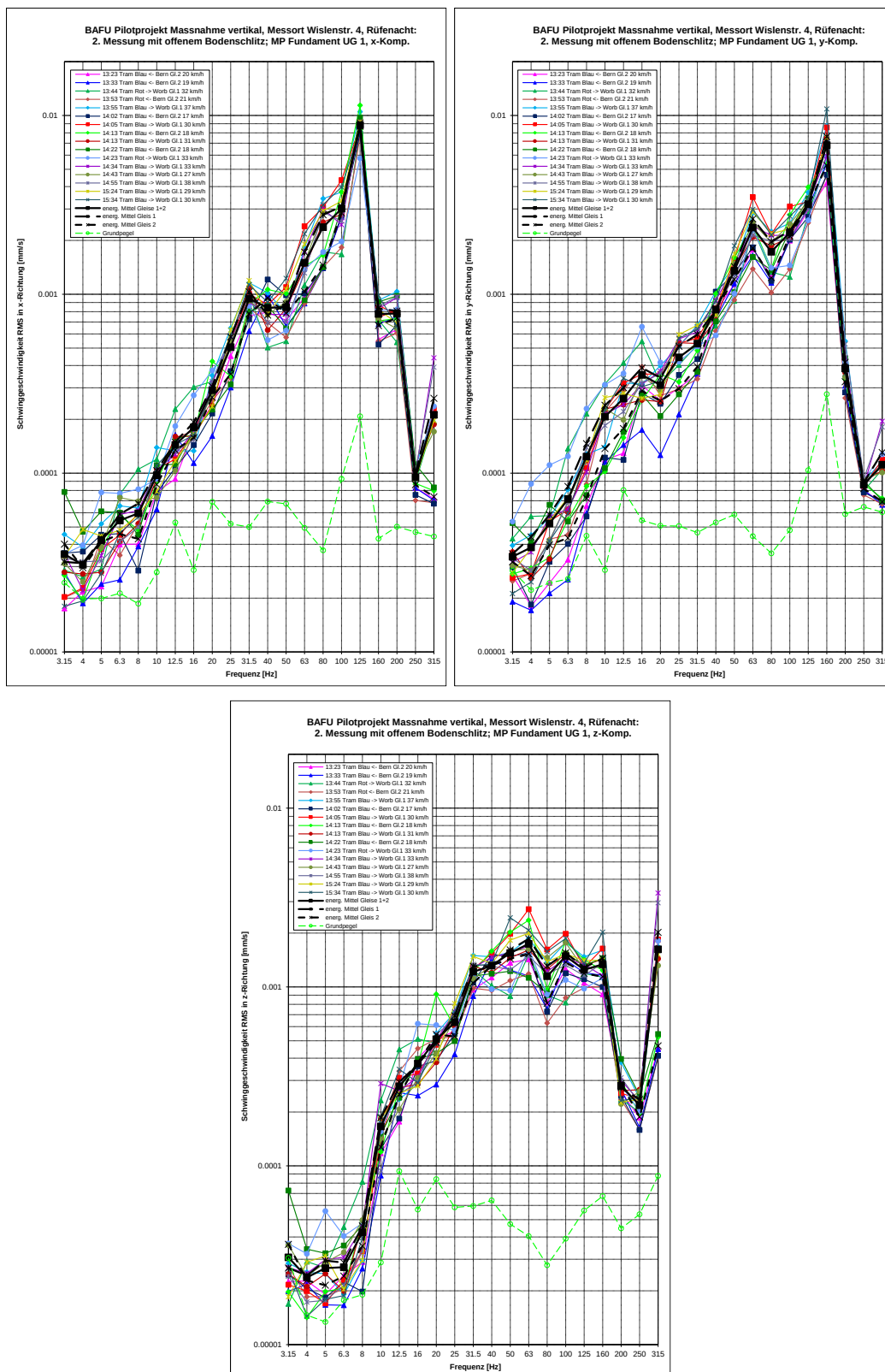
(Total 24 Seiten)

Beilage 5.1: 2. Messung, ausgewählte Terzbandspektren



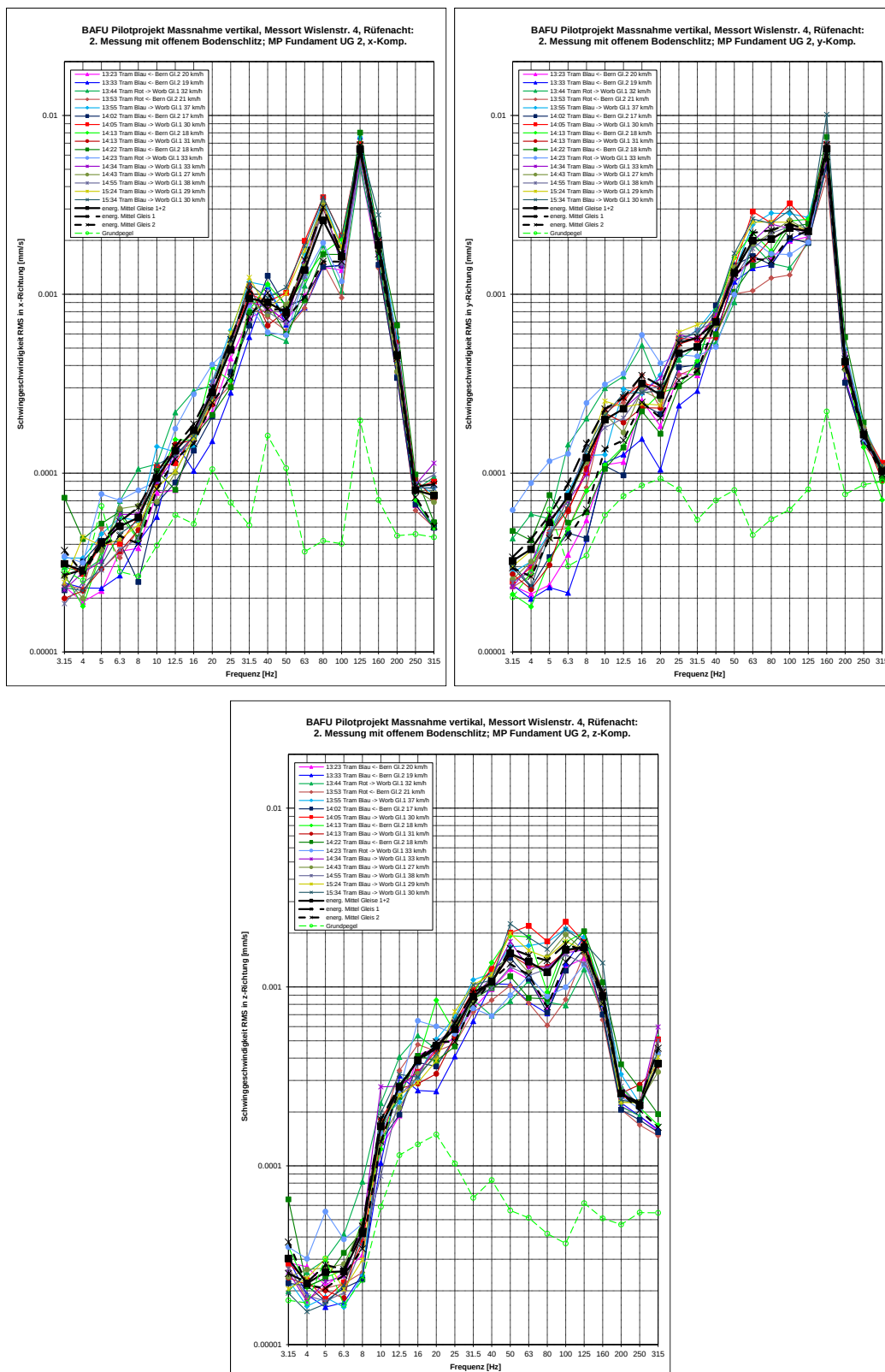
Messpunkte Aussen 1-3, z-Komponente vor dem Gebäude West, Mitte, Ost

Beilage 5.1: 2. Messung, ausgewählte Terzbandspektren



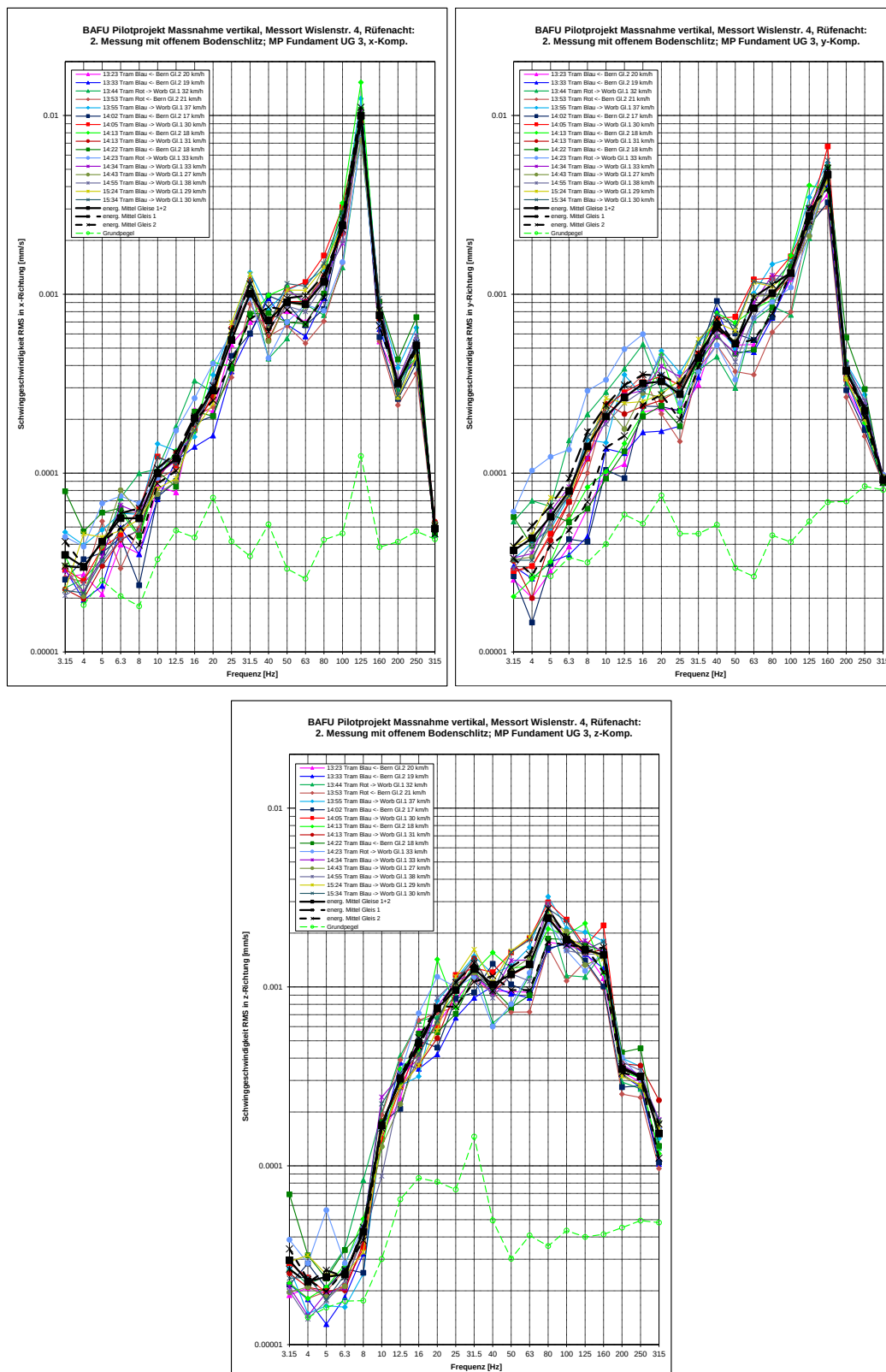
Messpunkt Fundament UG 1 Waschküche, x-, y-, z-Komponenten

Beilage 5.1: 2. Messung, ausgewählte Terzbandspektren



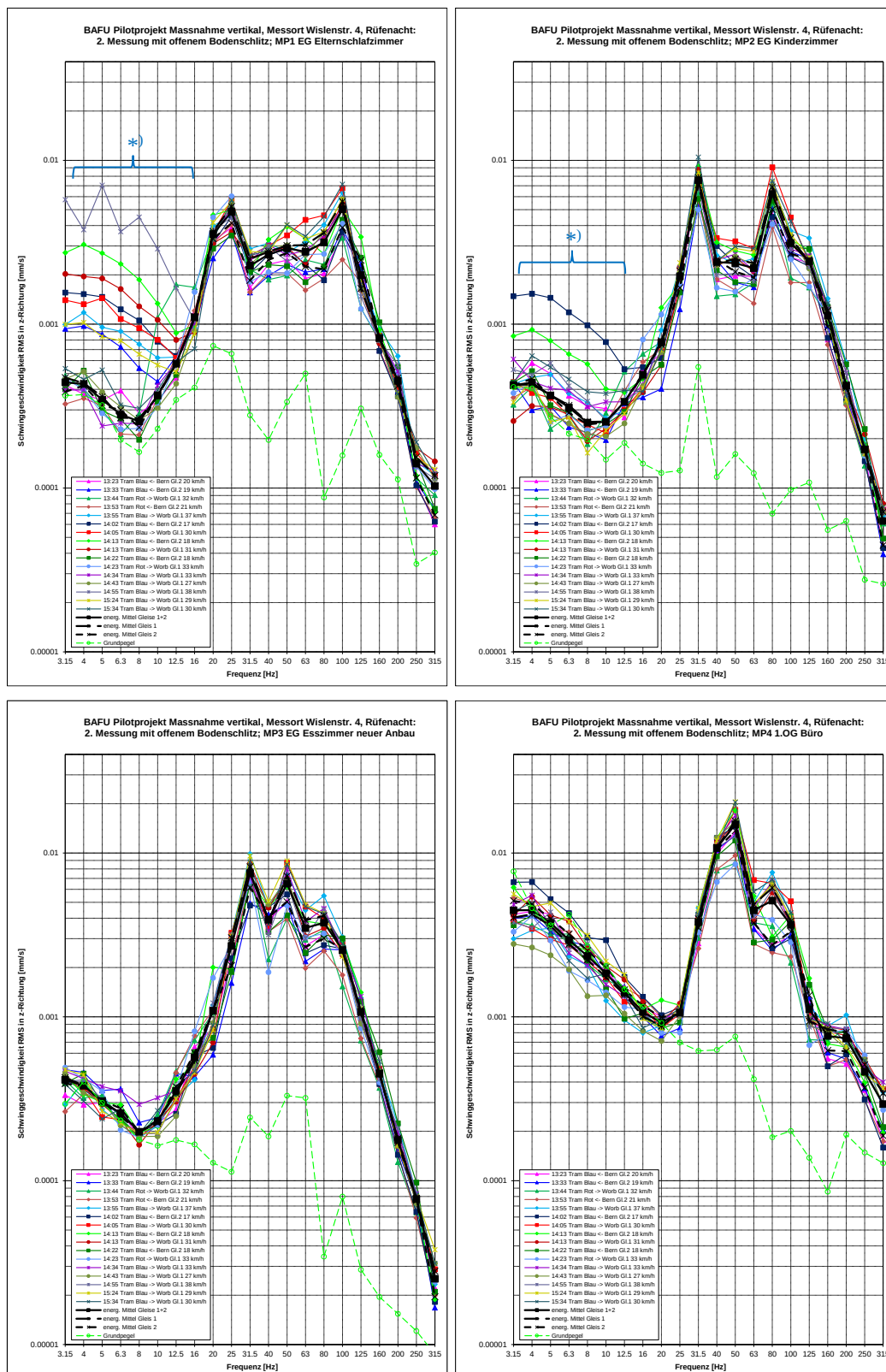
Messpunkt Fundament UG 2 unter der Treppe Heizraum, x-, y-, z-Komponenten

Beilage 5.1: 2. Messung, ausgewählte Terzbandspektren

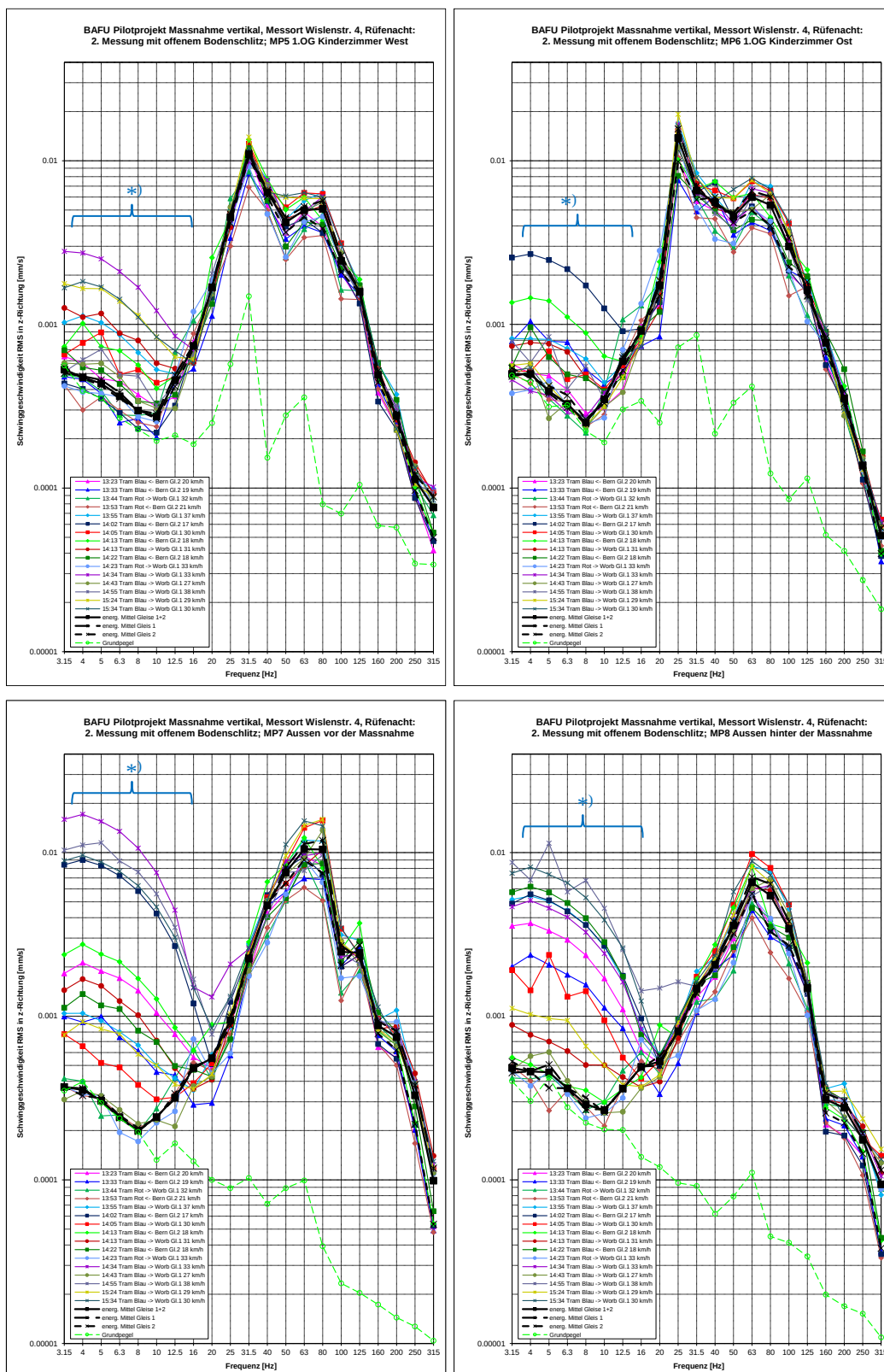


Messpunkt Fundament UG 3 Gästezimmer im Anbau, x-, y-, z-Komponenten

Beilage 5.1: 2. Messung, ausgewählte Terzbandspektren



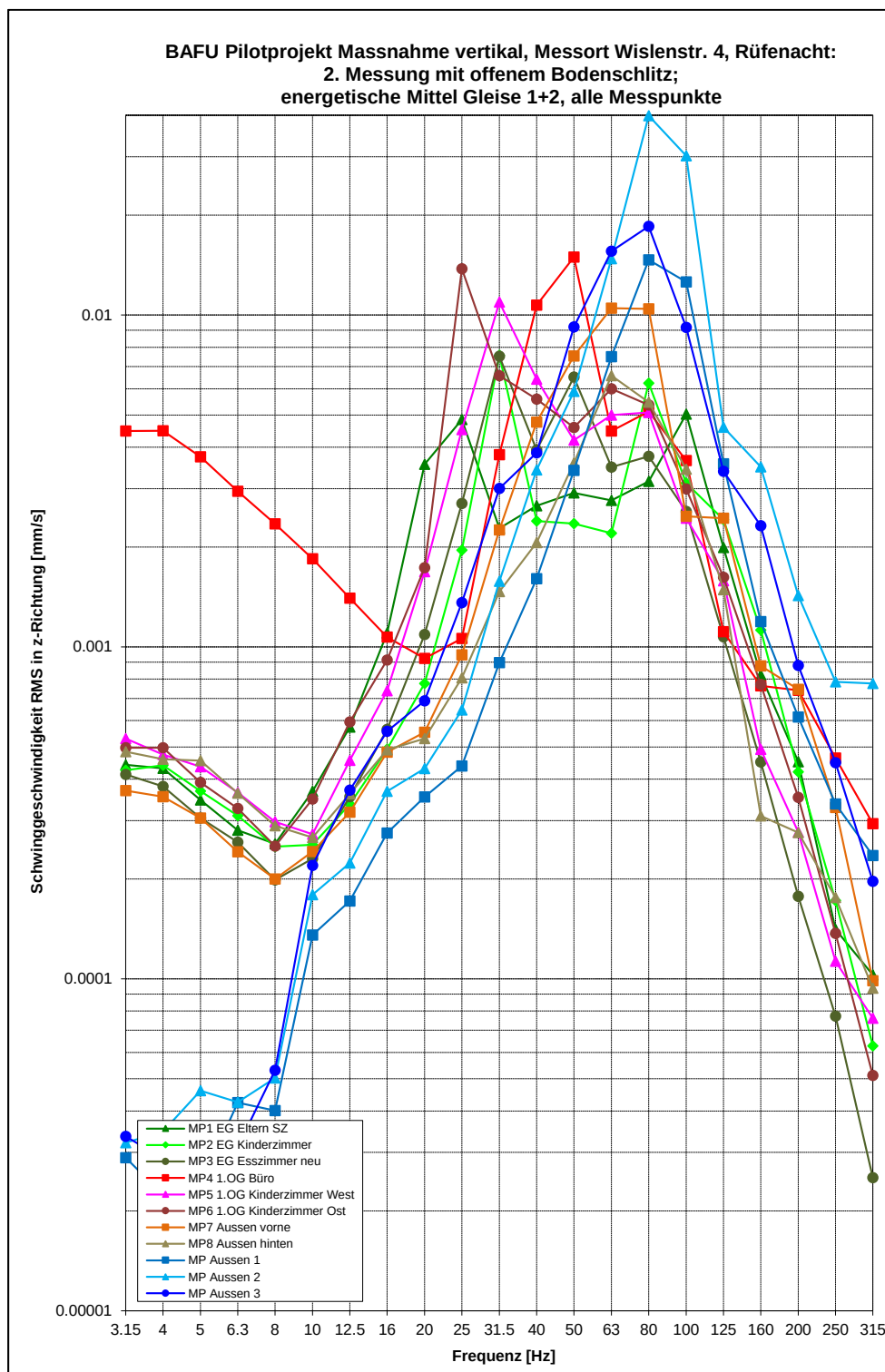
Beilage 5.1: 2. Messung, ausgewählte Terzbandspektren



Messpunkte MP5-MP6 in den Zimmern OG und MP7-MP8 vor und hinter der Massnahme,
z-Komponente

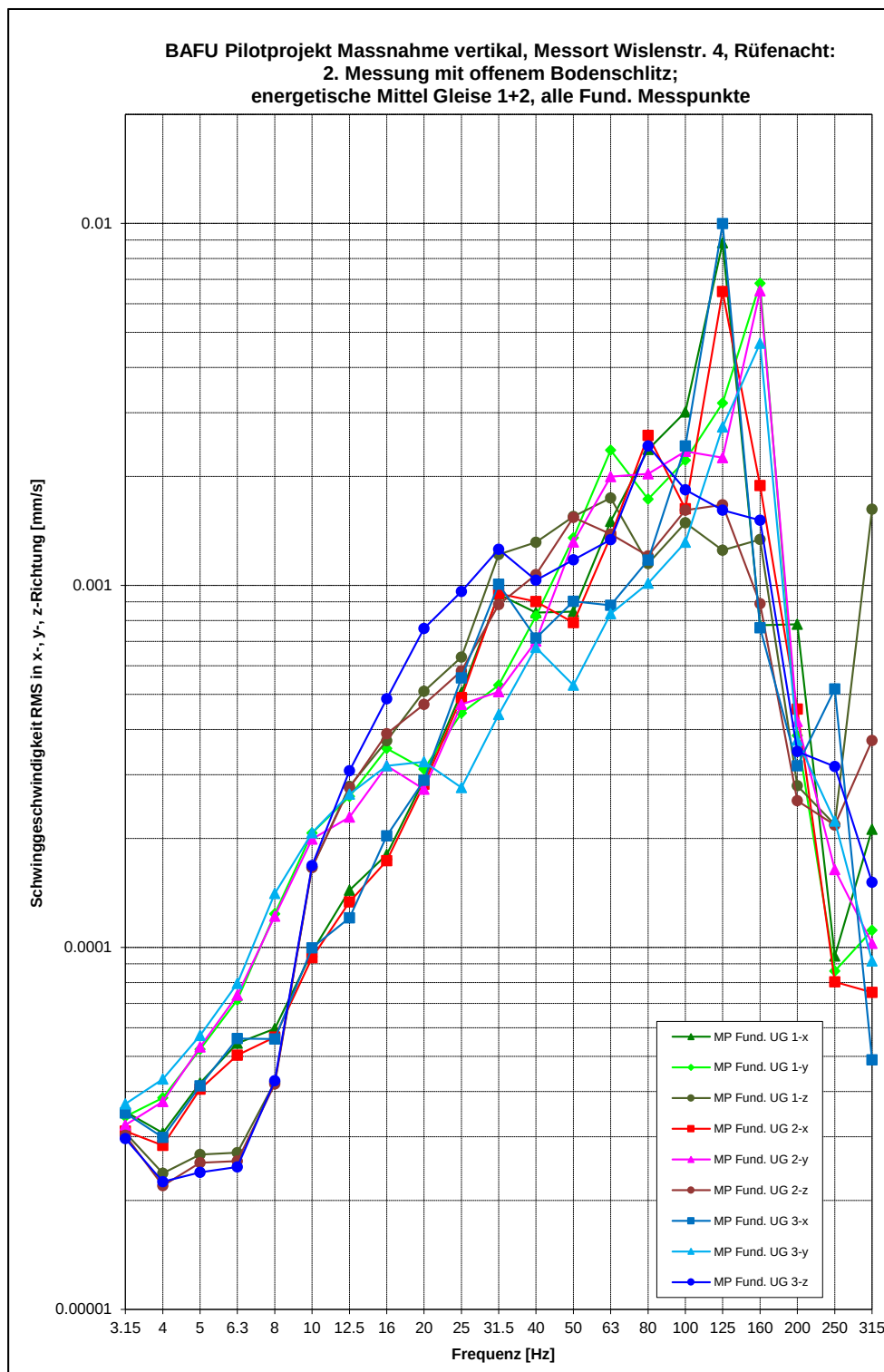
*) Störungen durch elektromagnetische Impulse während der Tramvorbeifahrt; im Mittelwert eliminiert

Beilage 5.1: 2. Messung, ausgewählte Terzbandspektren



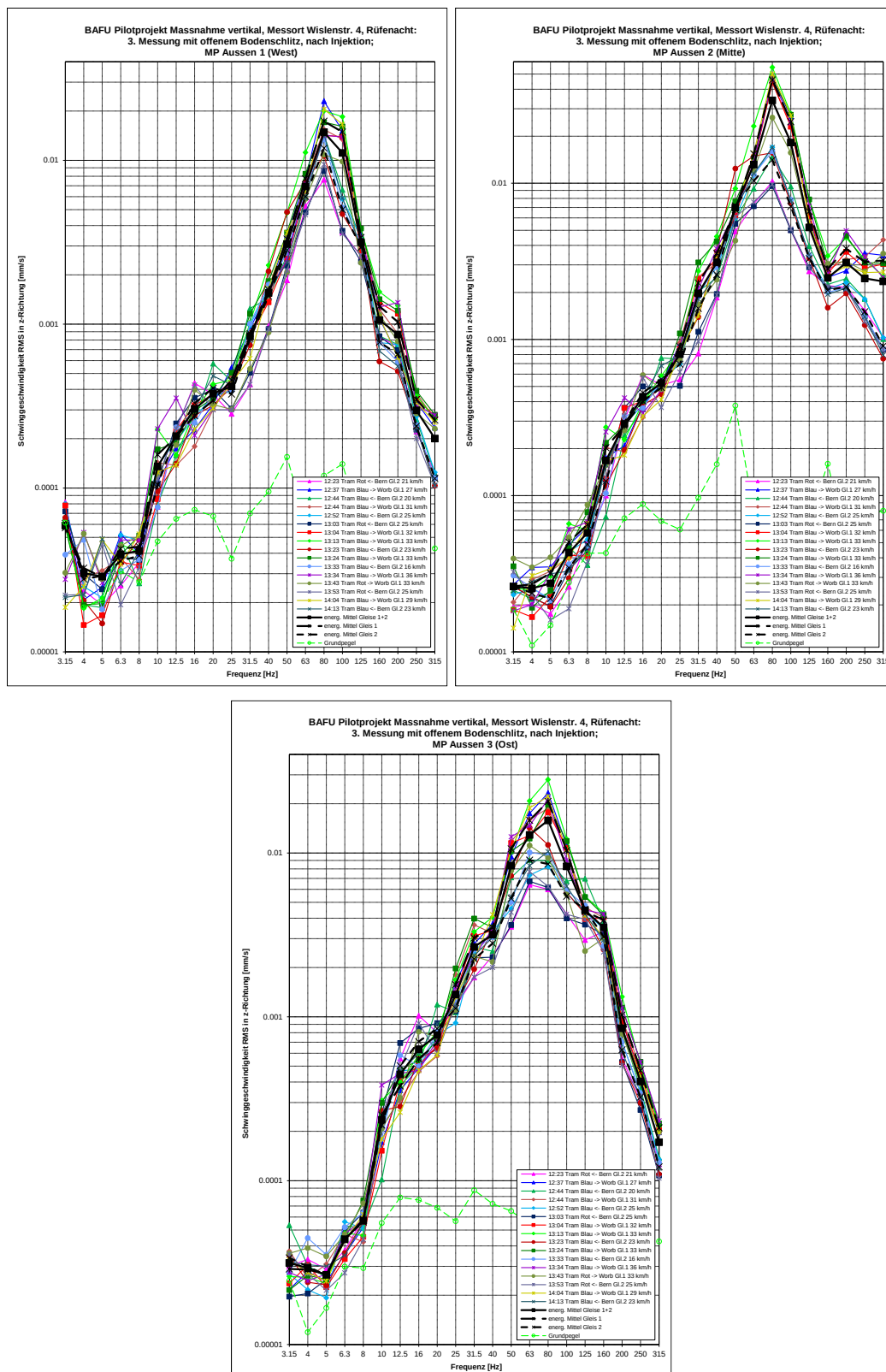
Energetische Mittelungsspektren aller Messpunkte Aussen 1-3, MP1-MP6 in den Zimmern und MP7-MP8 vor und hinter der Massnahme, z-Komponente für Tram auf Gleis 1 und 2

Beilage 5.1: 2. Messung, ausgewählte Terzbandspektren



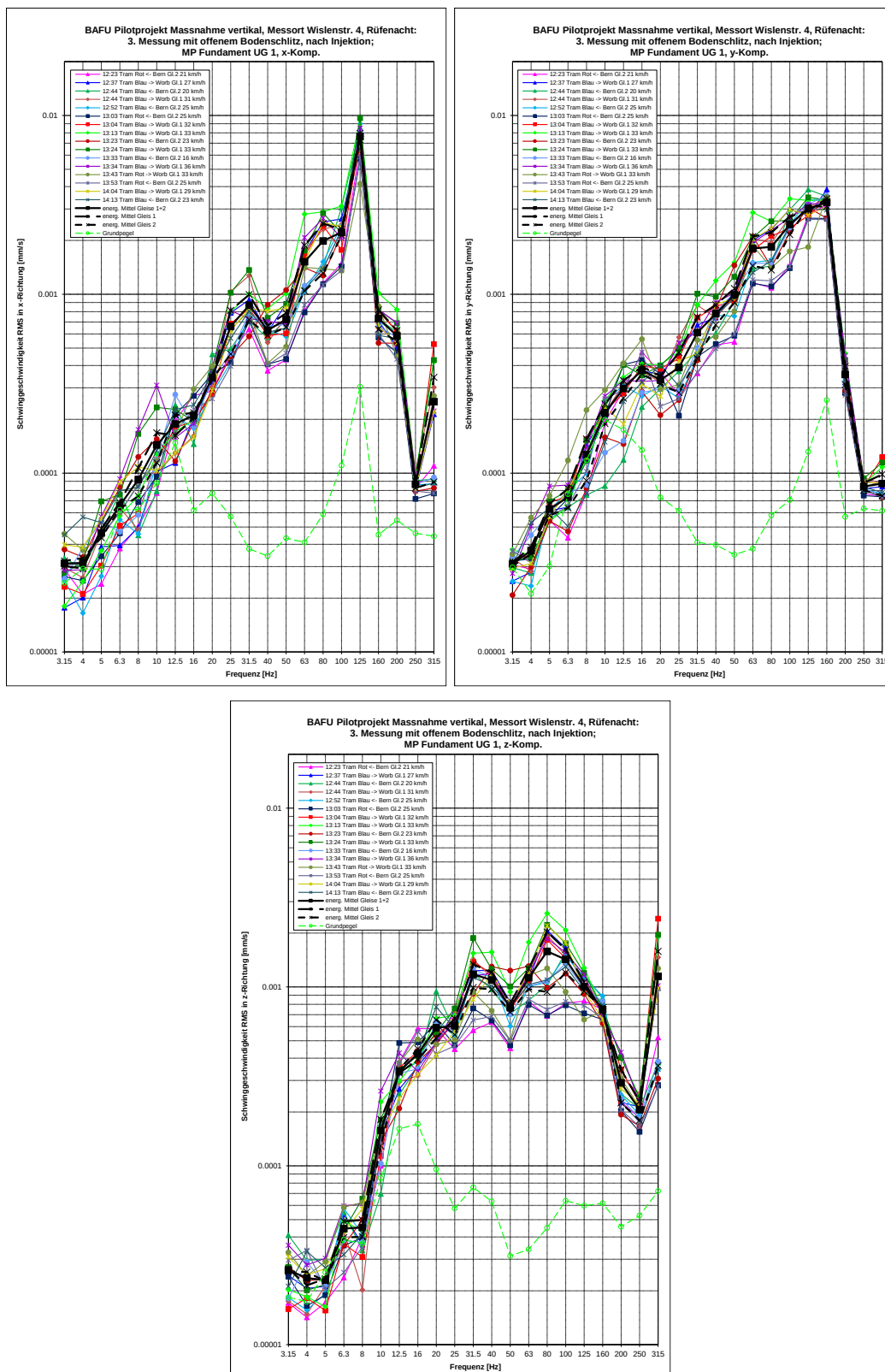
Energetische Mittelungsspektren aller Messpunkte UG 1-3 am Fundament, x-, y-, z-Komponente
für Tram auf Gleis 1 und 2

Beilage 5.2: 3. Messung, ausgewählte Terzbandspektren



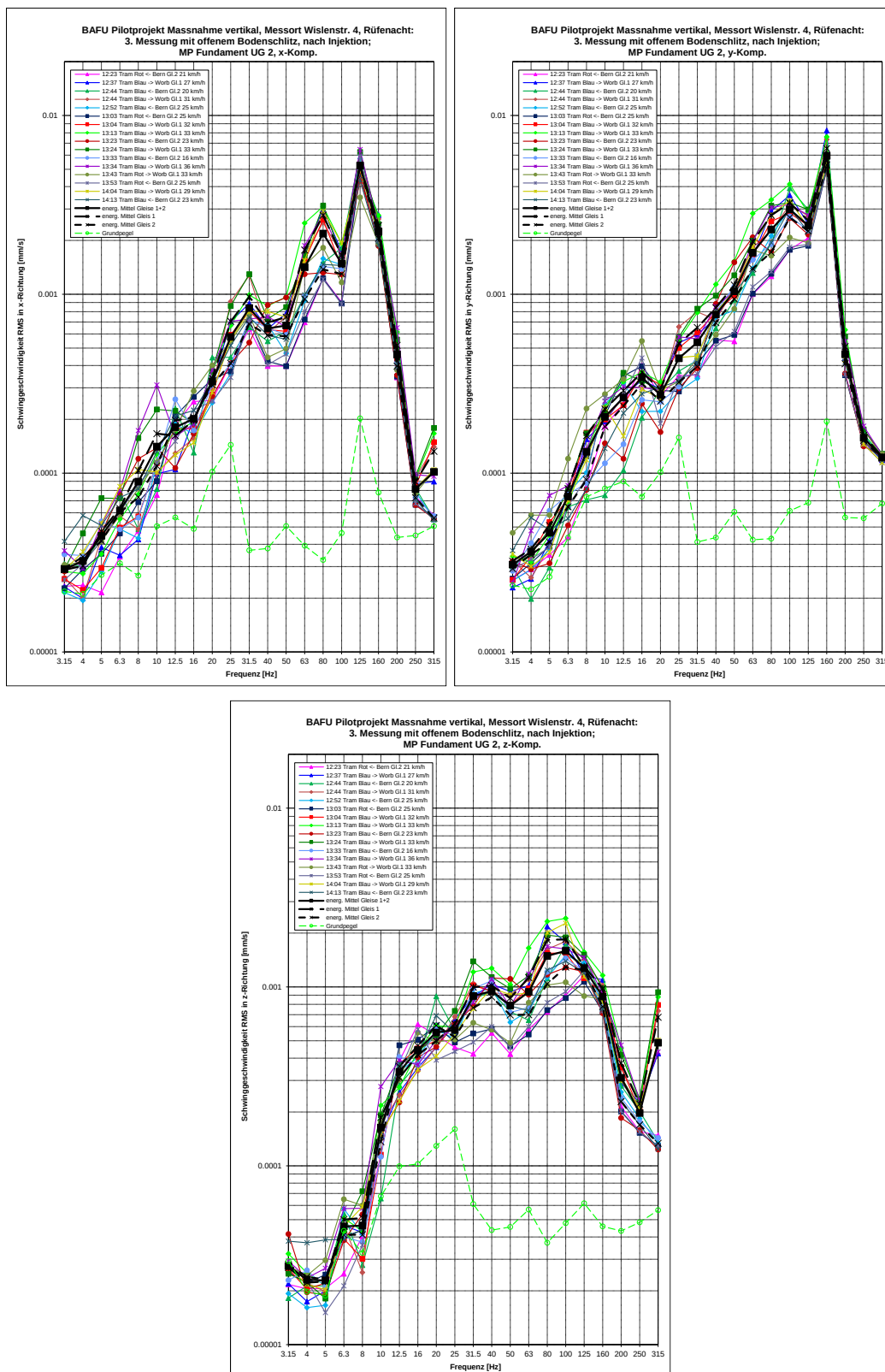
Messpunkte Aussen 1-3, z-Komponente vor dem Gebäude West, Mitte, Ost

Beilage 5.2: 3. Messung, ausgewählte Terzbandspektren



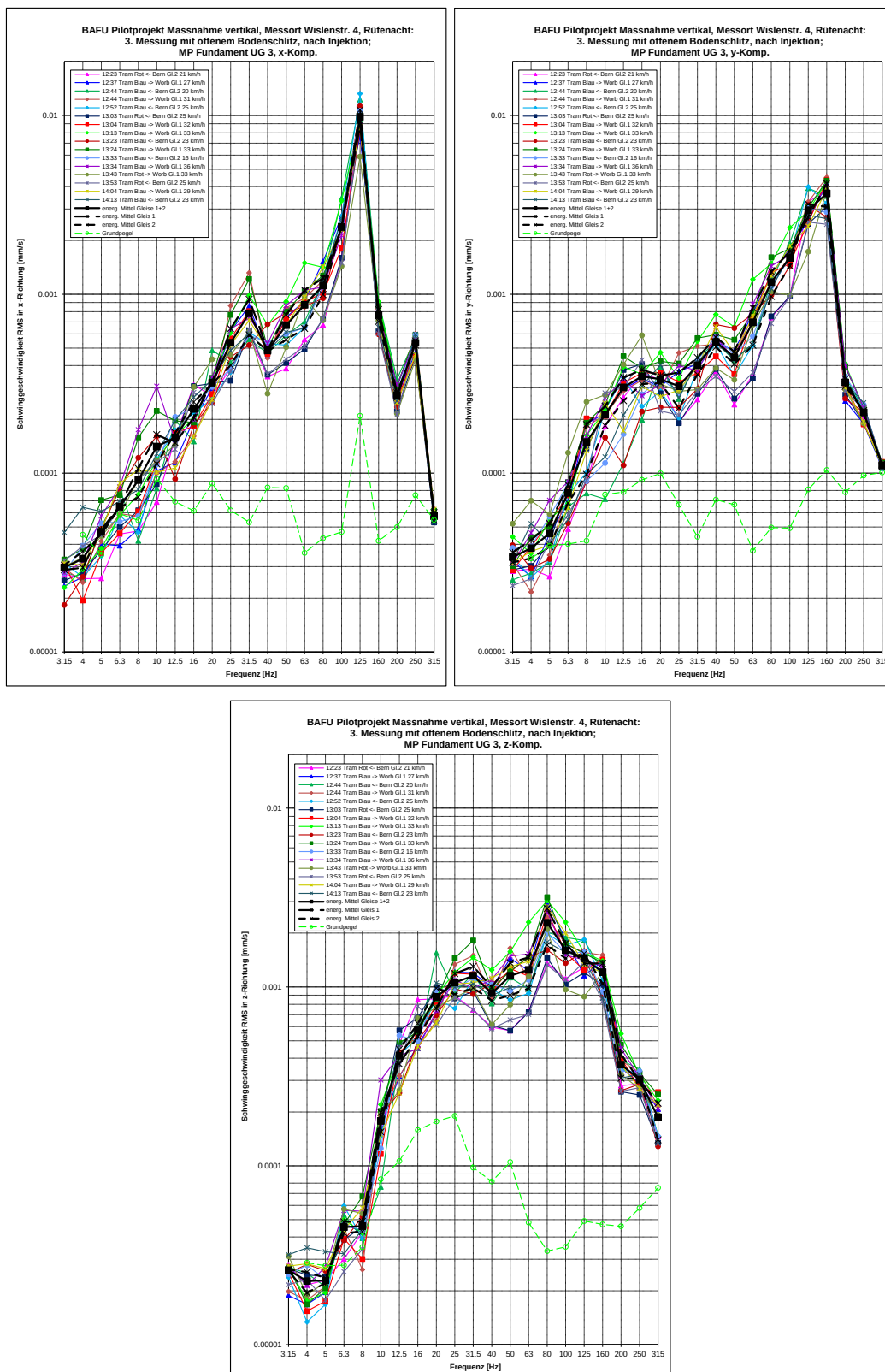
Messpunkt Fundament UG 1 Waschküche, x-, y-, z-Komponenten

Beilage 5.2: 3. Messung, ausgewählte Terzbandspektren



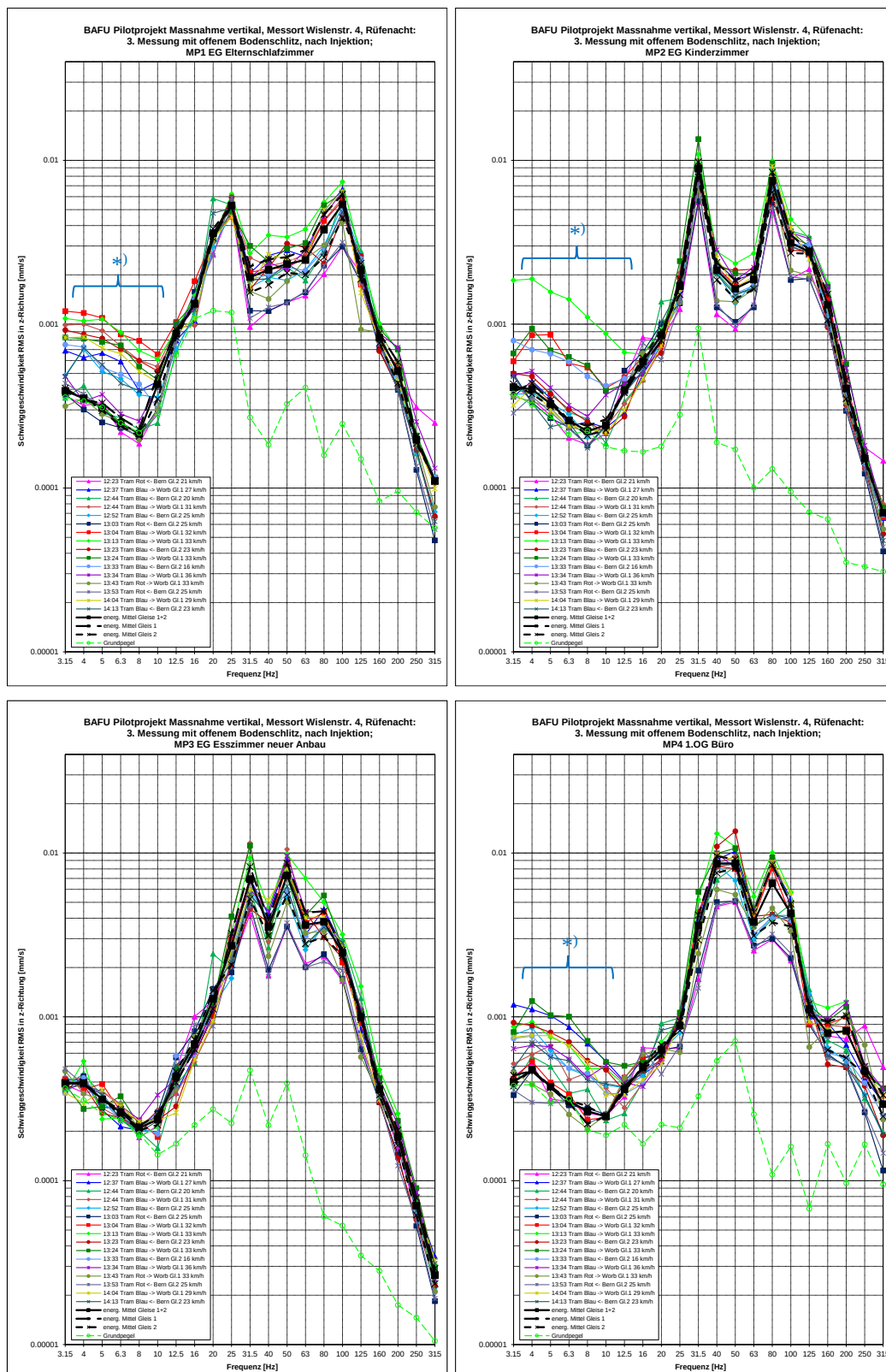
Messpunkt Fundament UG 2 unter der Treppe Heizraum, x-, y-, z-Komponenten

Beilage 5.2: 3. Messung, ausgewählte Terzbandspektren



Messpunkt Fundament UG 3 Gästezimmer im Anbau, x-, y-, z-Komponenten

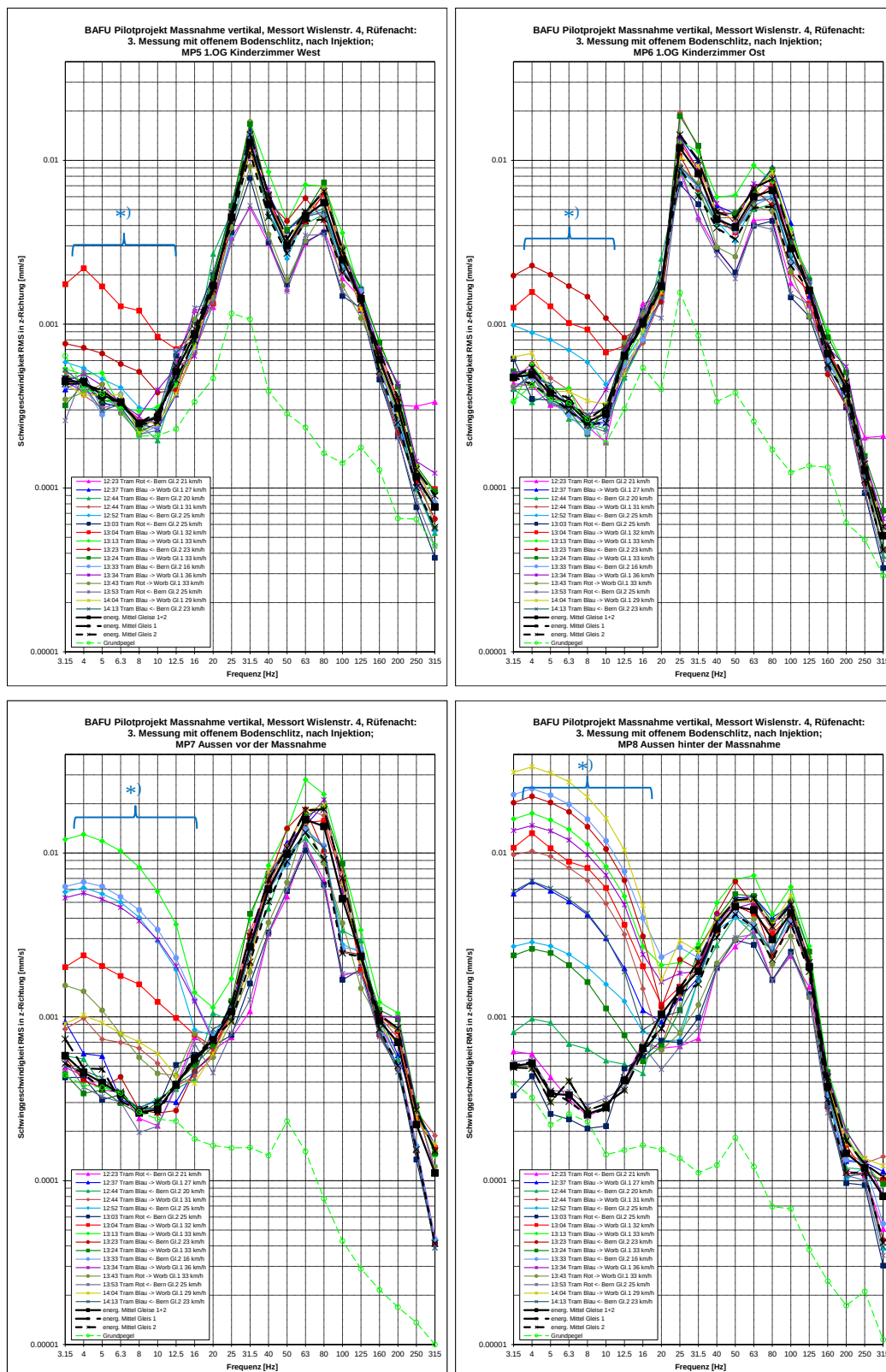
Beilage 5.2: 3. Messung, ausgewählte Terzbandspektren



Messpunkte MP1-MP4 in den Zimmern EG und OG, z-Komponente

*) Störungen durch elektromagnetische Impulse während der Tramvorbeifahrt; im Mittelwert eliminiert

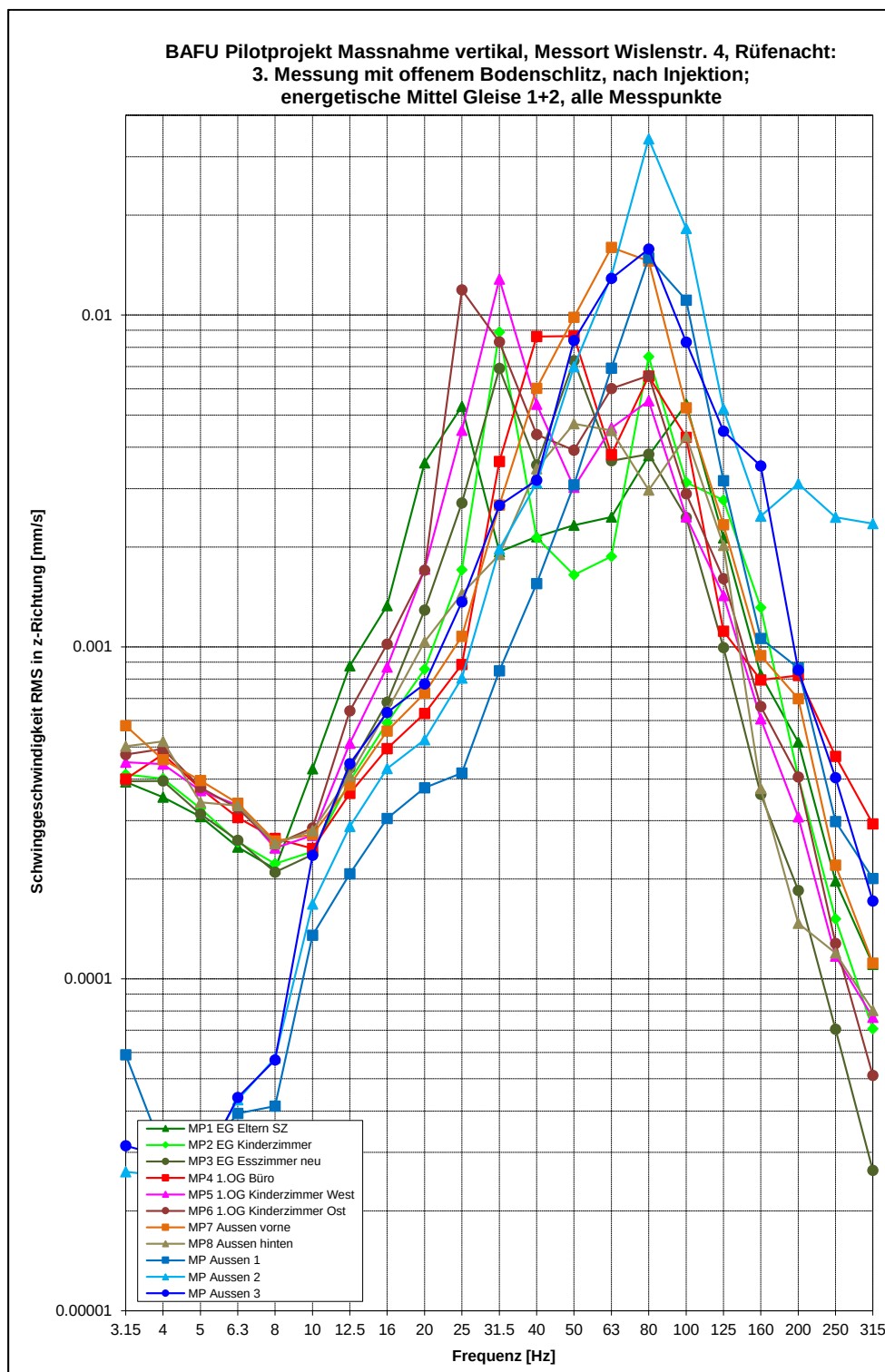
Beilage 5.2: 3. Messung, ausgewählte Terzbandspektren



Messpunkte MP5-MP6 in den Zimmern OG und MP7-MP8 vor und hinter der Massnahme,
z-Komponente

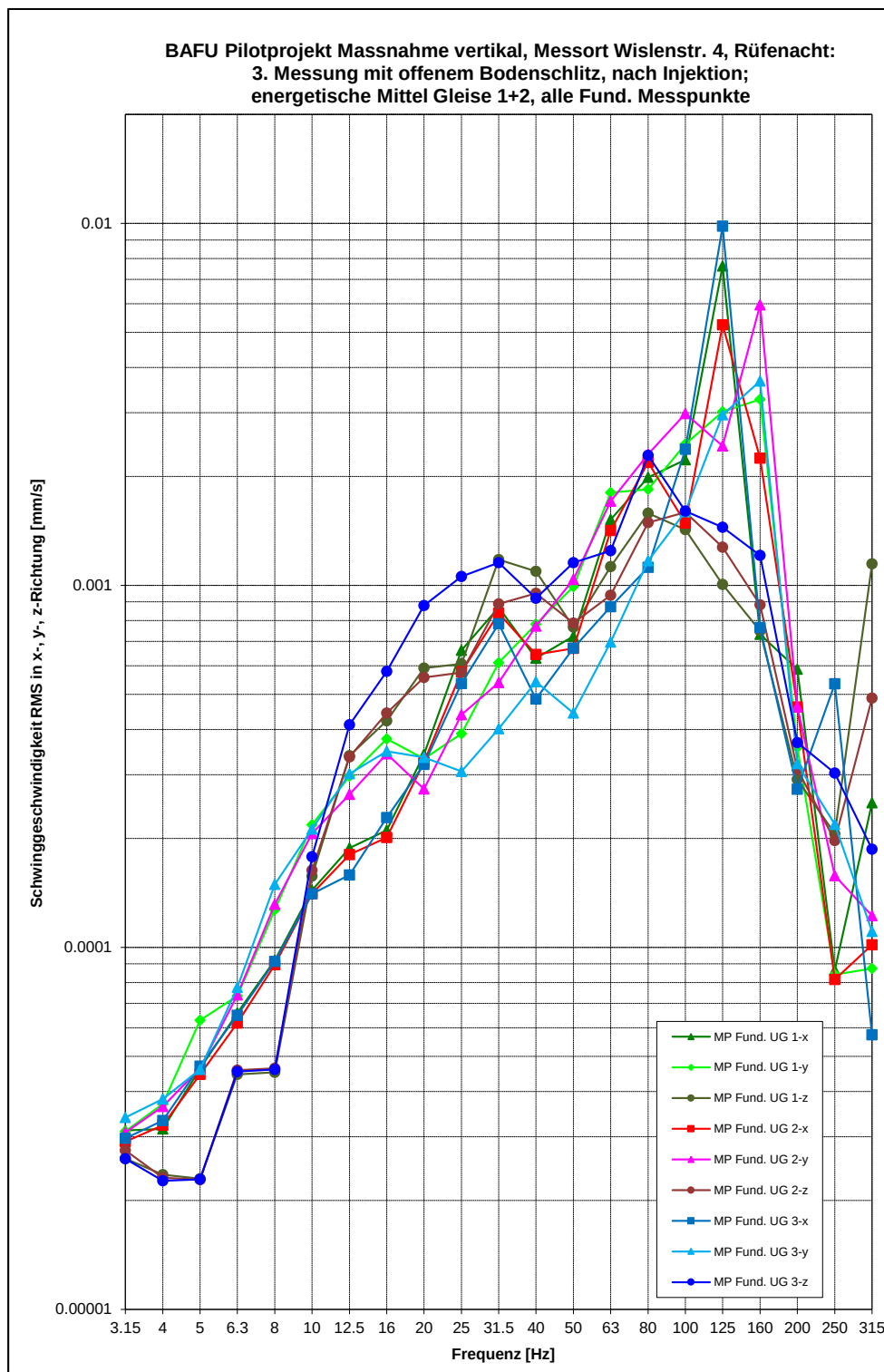
*) Störungen durch elektromagnetische Impulse während der Tramvorbeifahrt; im Mittelwert eliminiert

Beilage 5.2: 3. Messung, ausgewählte Terzbandspektren



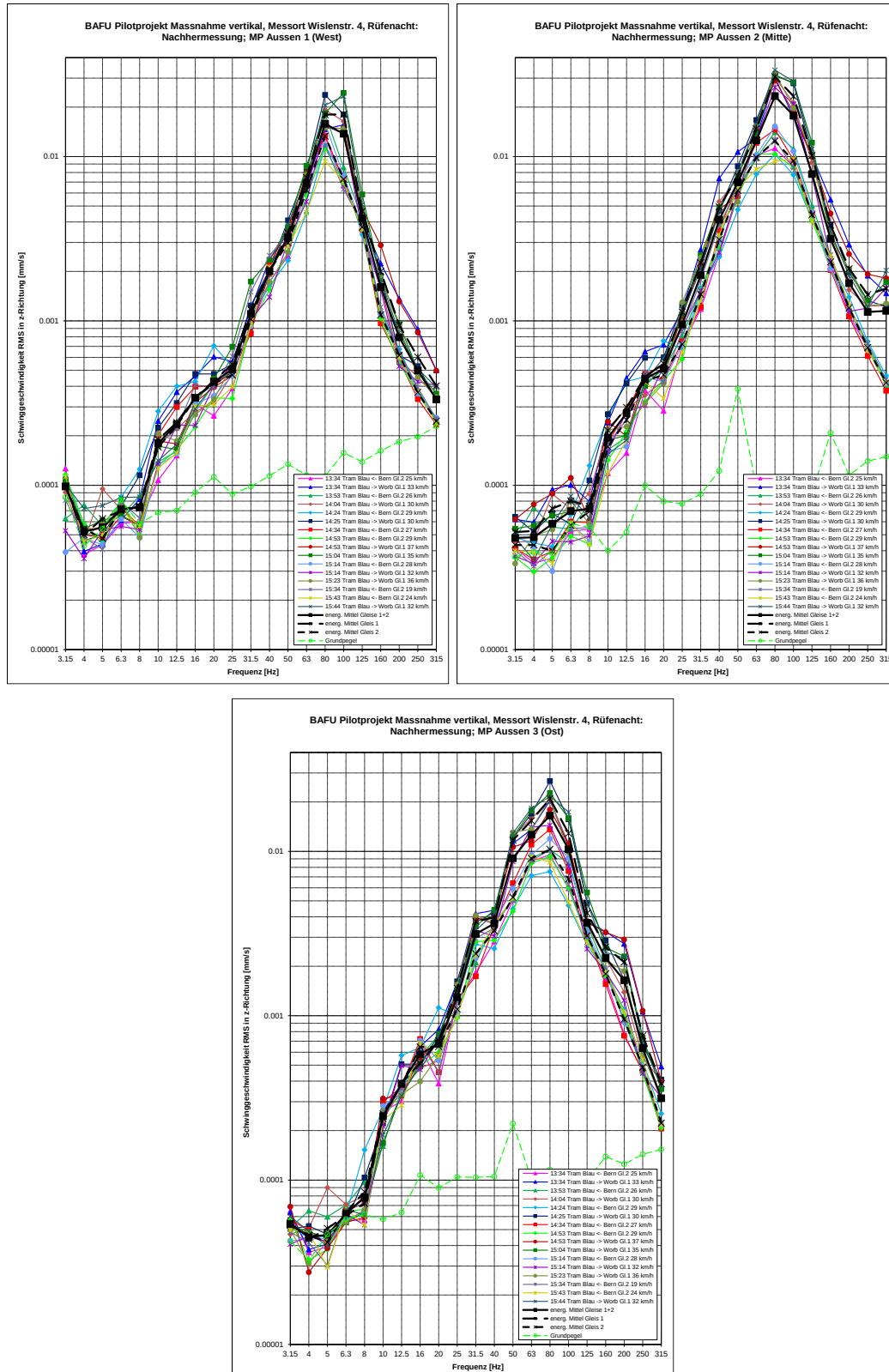
Energetische Mittelungsspektren aller Messpunkte Aussen 1-3, MP1-MP6 in den Zimmern und MP7-MP8 vor und hinter der Massnahme, z-Komponente für Tram auf Gleis 1 und 2

Beilage 5.2: 3. Messung, ausgewählte Terzbandspektren



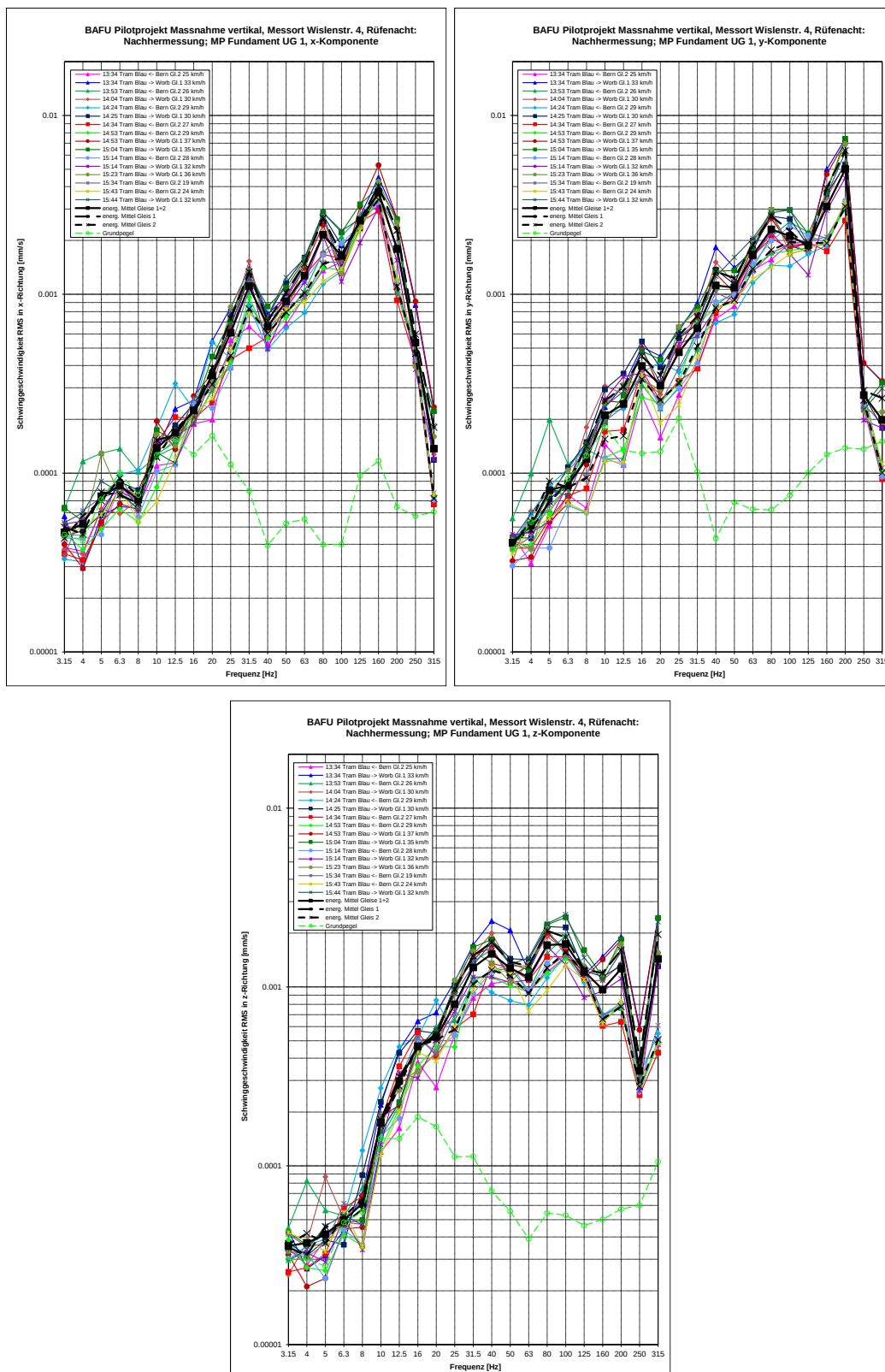
Energetische Mittelungsspektren aller Messpunkte UG 1-3 am Fundament, x-, y-, z-Komponente
für Tram auf Gleis 1 und 2

Beilage 5.3: Nachhermessung, ausgewählte Terzbandspektren



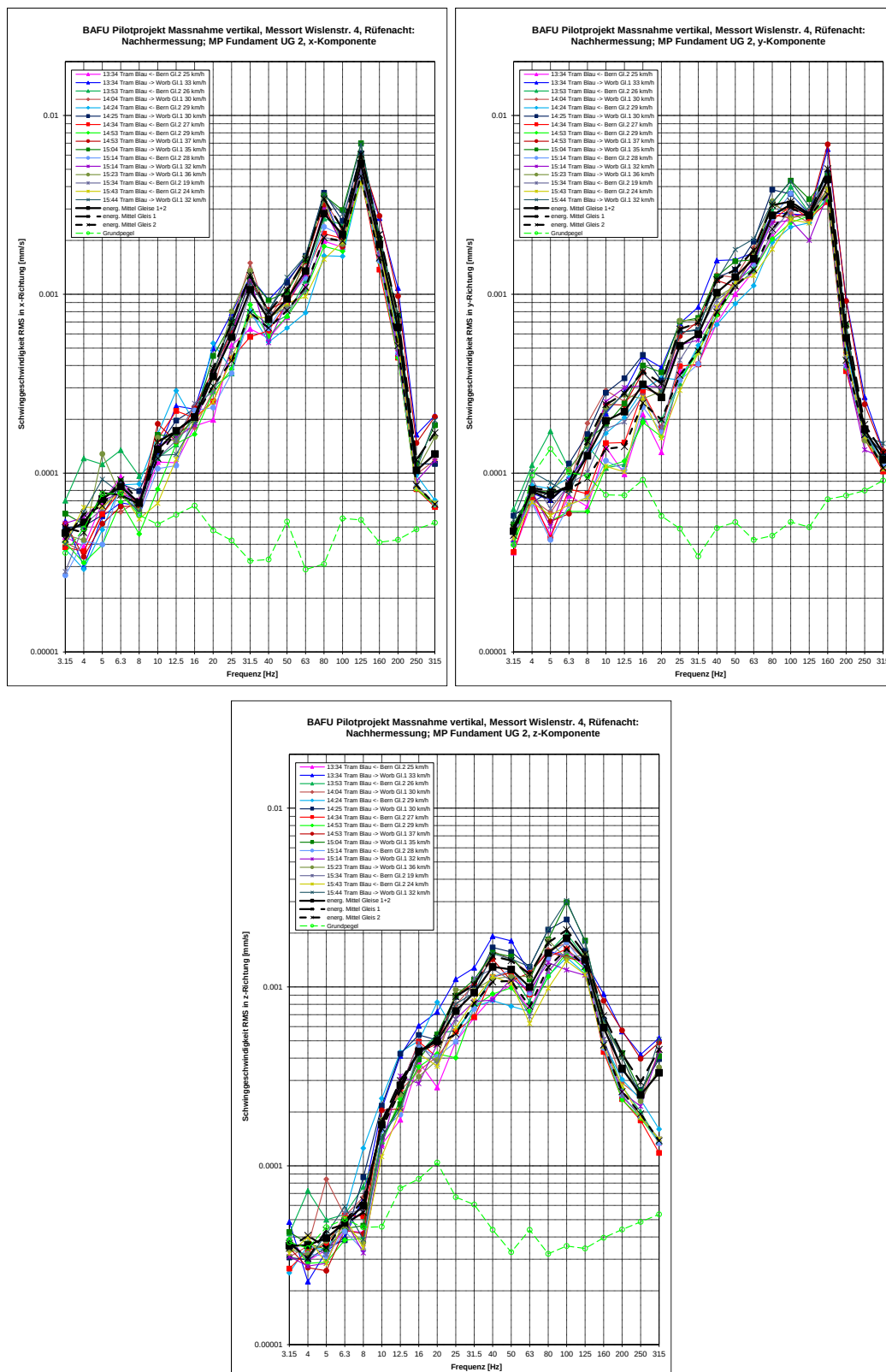
Messpunkte Aussen 1-3, z-Komponente vor dem Gebäude West, Mitte, Ost

Beilage 5.3: Nachhermessung, ausgewählte Terzbandspektren

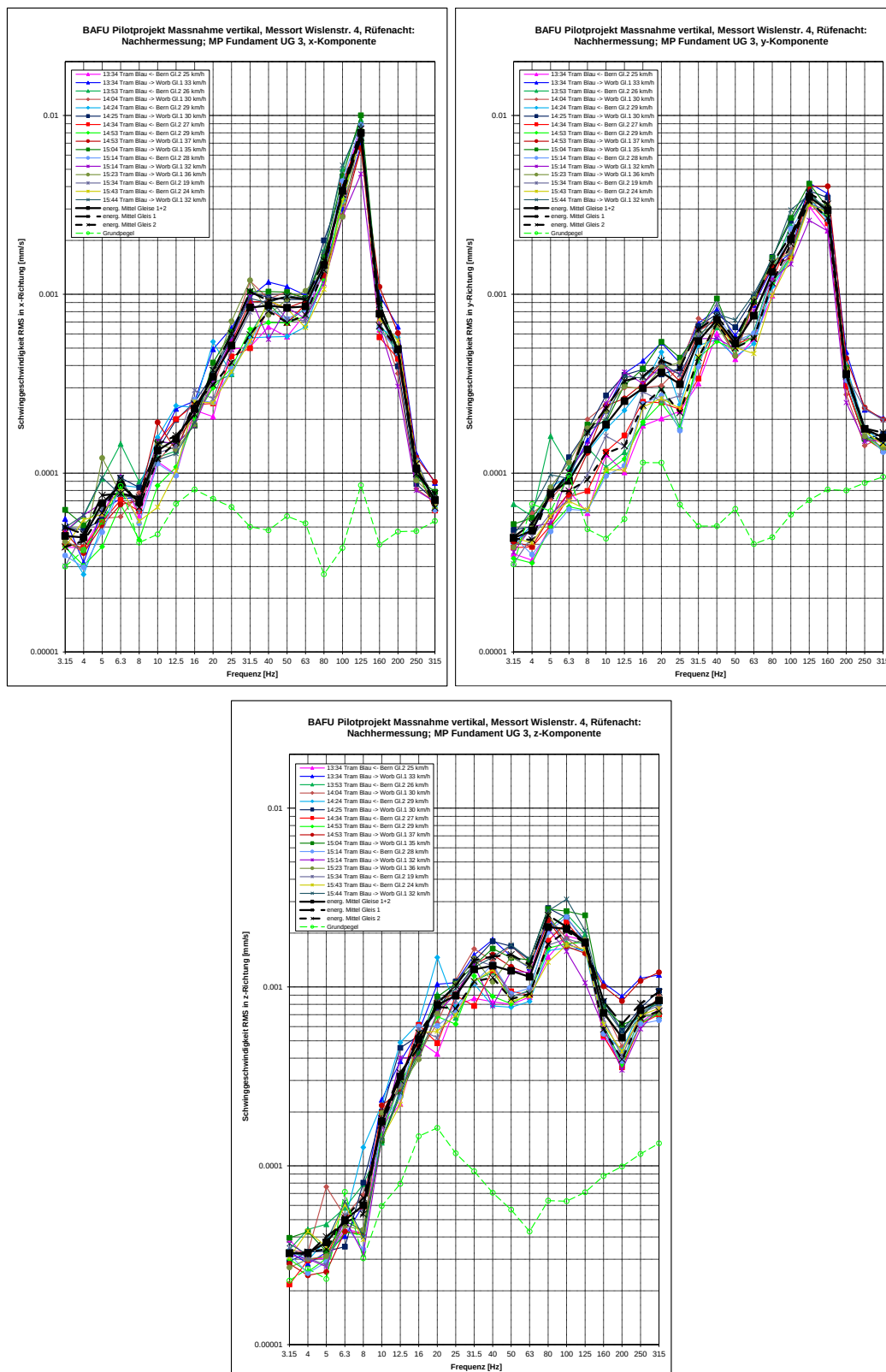


Messpunkt Fundament UG 1 Waschküche, x-, y-, z-Komponenten

Beilage 5.3: Nachhermessung, ausgewählte Terzbandspektren

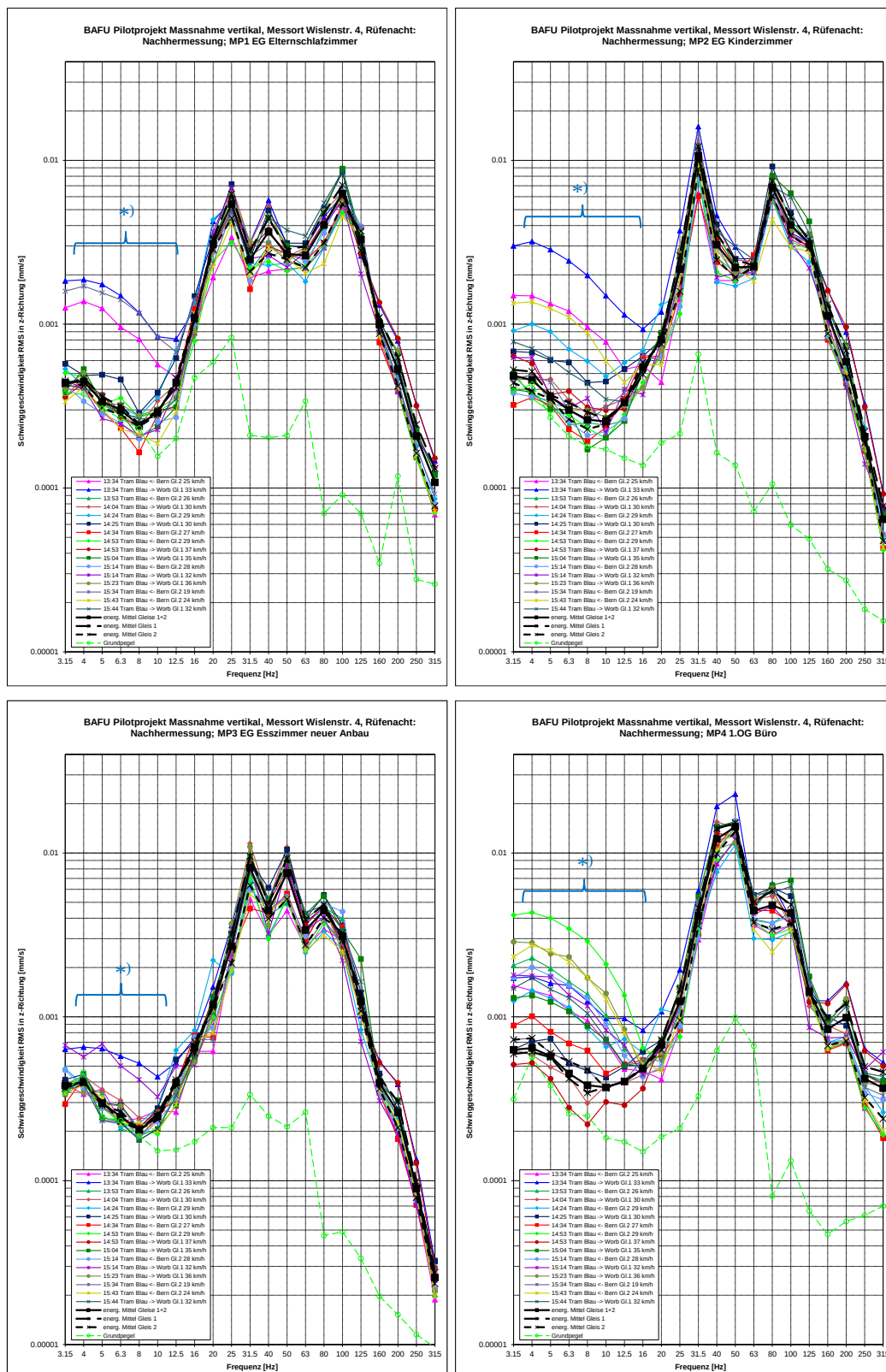


Beilage 5.3: Nachhermessung, ausgewählte Terzbandspektren



Messpunkt Fundament UG 3 Gästezimmer im Anbau, x-, y-, z-Komponenten

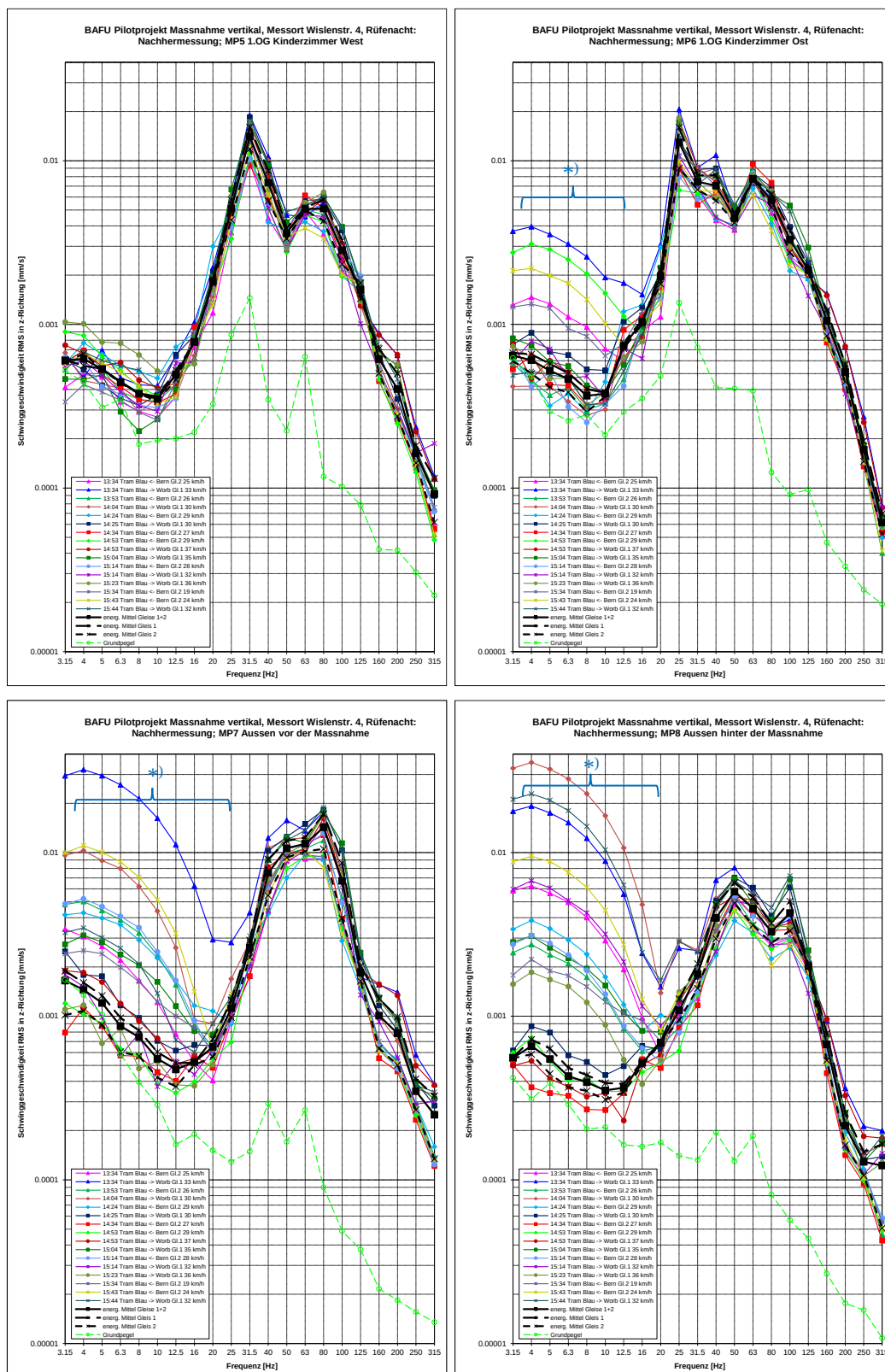
Beilage 5.3: Nachhermessung, ausgewählte Terzbandspektren



Messpunkte MP1-MP4 in den Zimmern EG und OG, z-Komponente

*) Störungen durch elektromagnetische Impulse während der Tramvorbeifahrt; im Mittelwert eliminiert

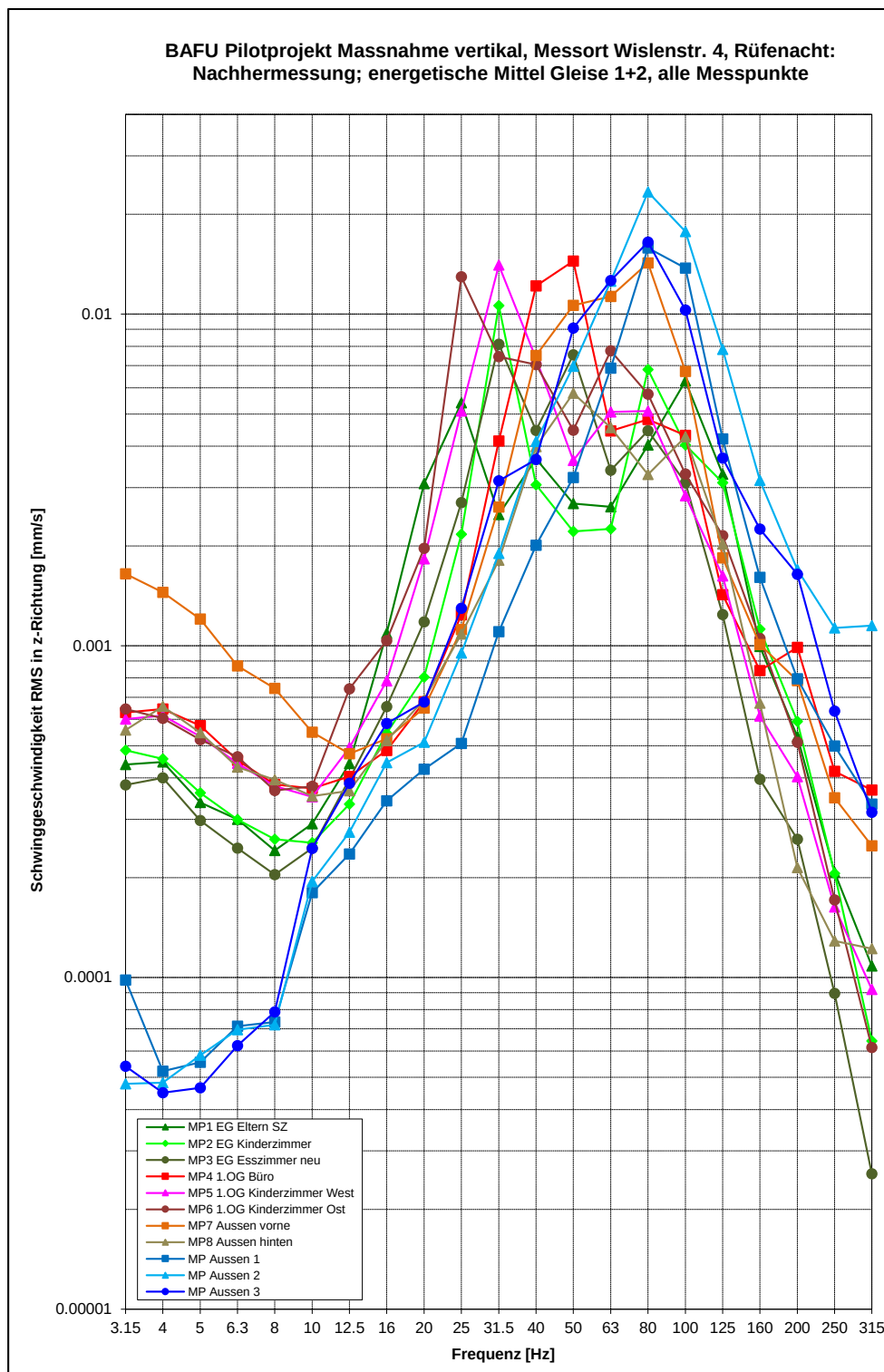
Beilage 5.3: Nachhermessung, ausgewählte Terzbandspektren



Messpunkte MP5-MP6 in den Zimmern OG und MP7-MP8 vor und hinter der Massnahme, z-Komponente

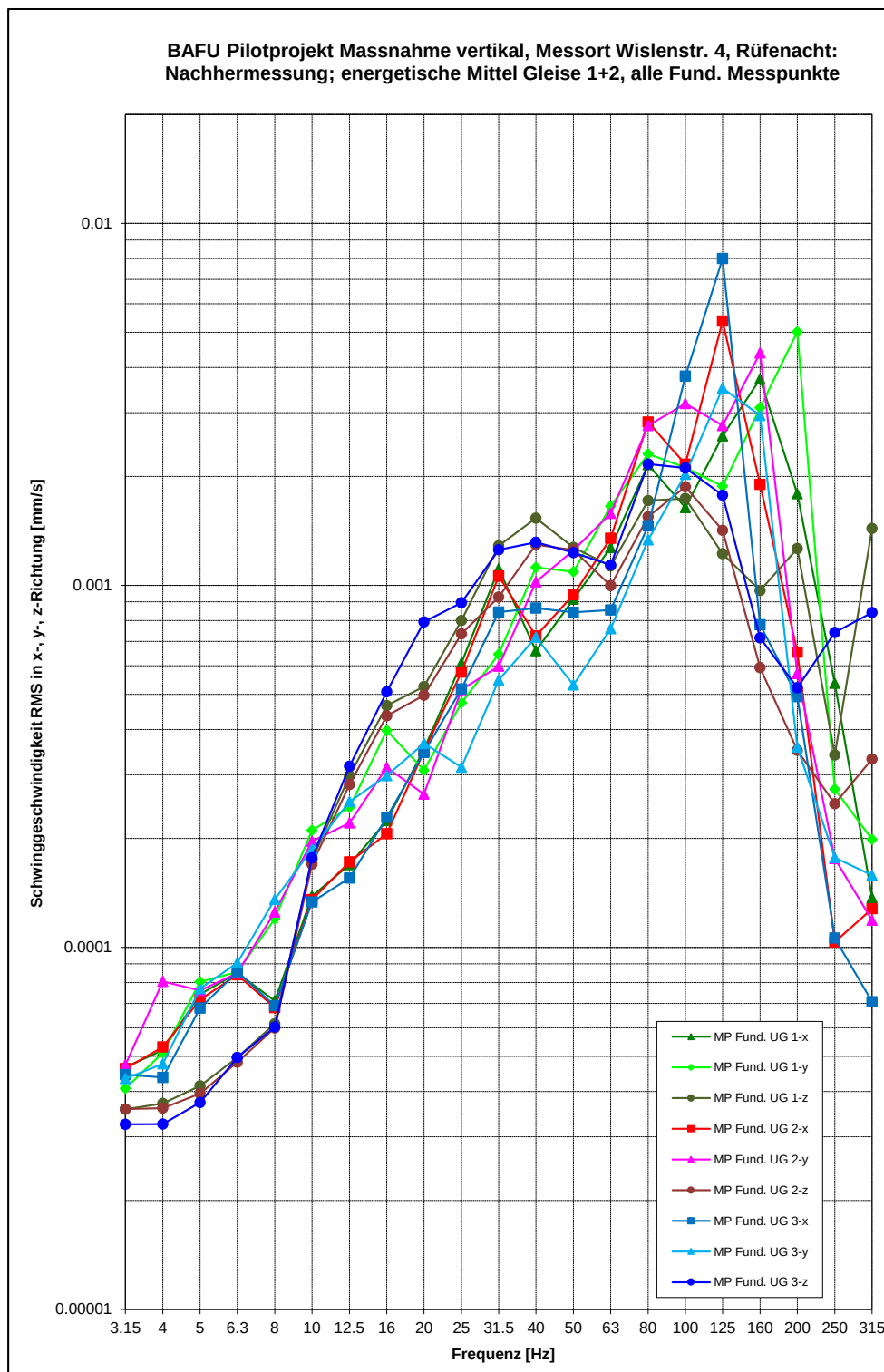
*) Störungen durch elektromagnetische Impulse während der Tramvorbeifahrt; im Mittelwert eliminiert

Beilage 5.3: Nachhermessung, ausgewählte Terzbandspektren



Energetische Mittelungsspektren aller Messpunkte Aussen 1-3, MP1-MP6 in den Zimmern und MP7-MP8 vor und hinter der Massnahme, z-Komponente für Tram auf Gleis 1 und 2

Beilage 5.3: Nachhermessung, ausgewählte Terzbandspektren



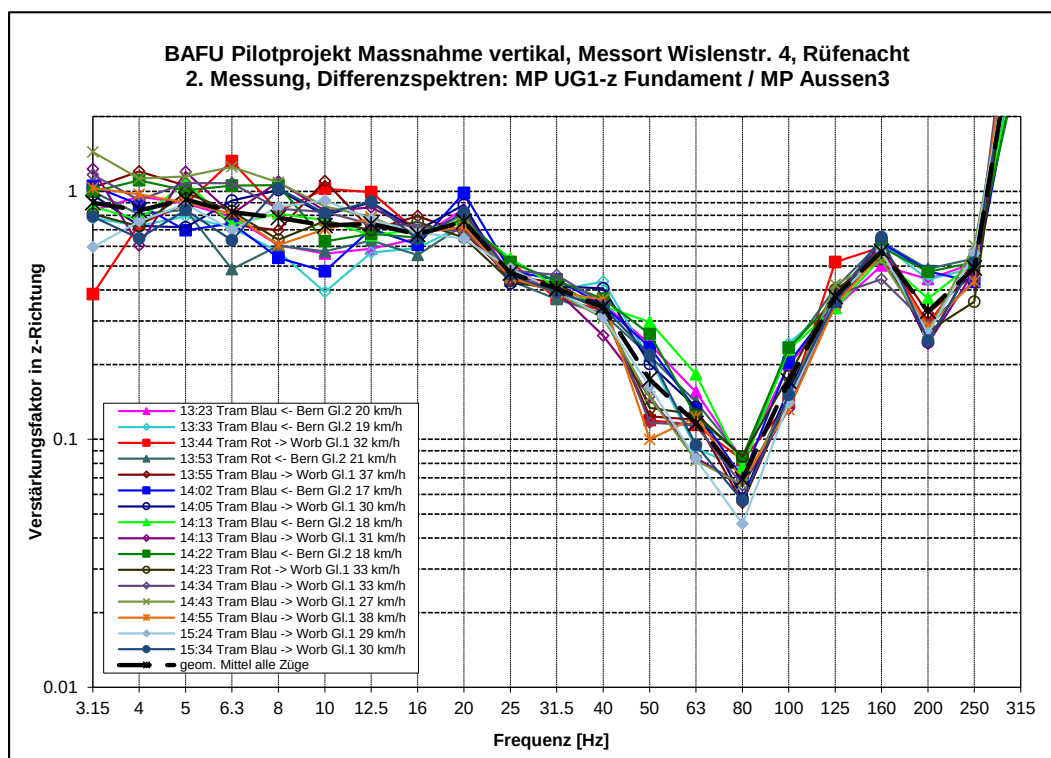
Energetische Mittelungsspektren aller Messpunkte UG 1-3 am Fundament, x-, y-, z-Komponente
für Tram auf Gleis 1 und 2

Beilage 6:

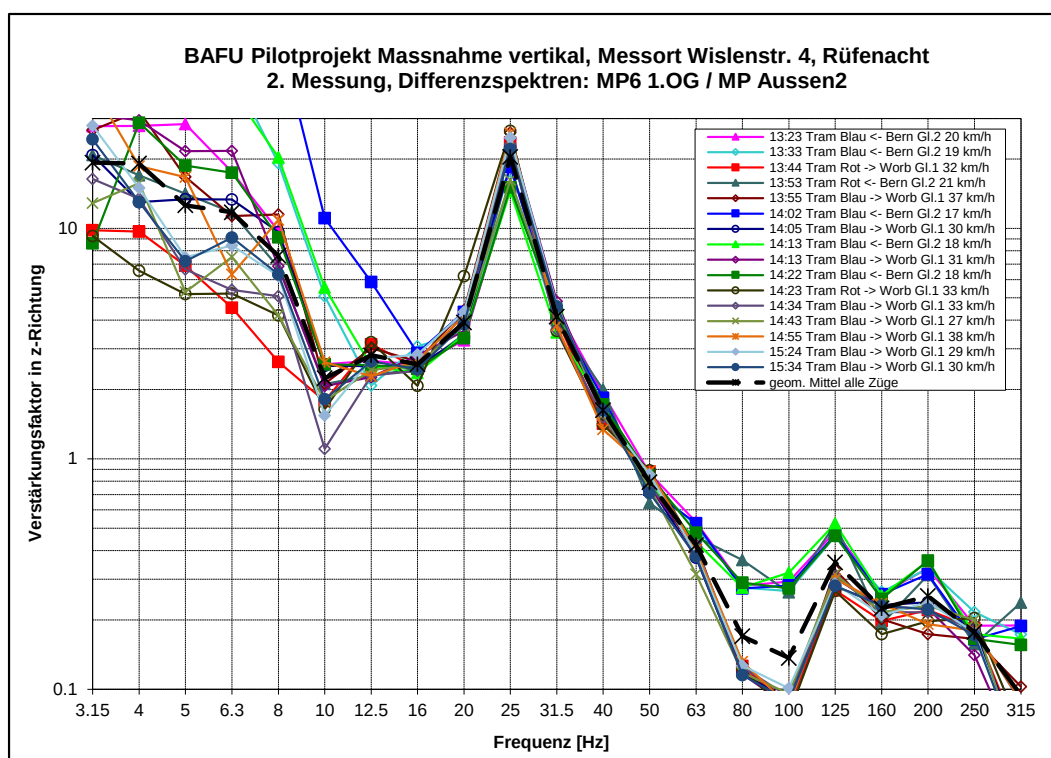
Erschütterungsmessungen: Ausgewählte Transferspektren der Zwischenmessungen und Nachhermessung

(Total 6 Seiten)

Beilage 6.1: 2. Messung, ausgewählte Transferspektren

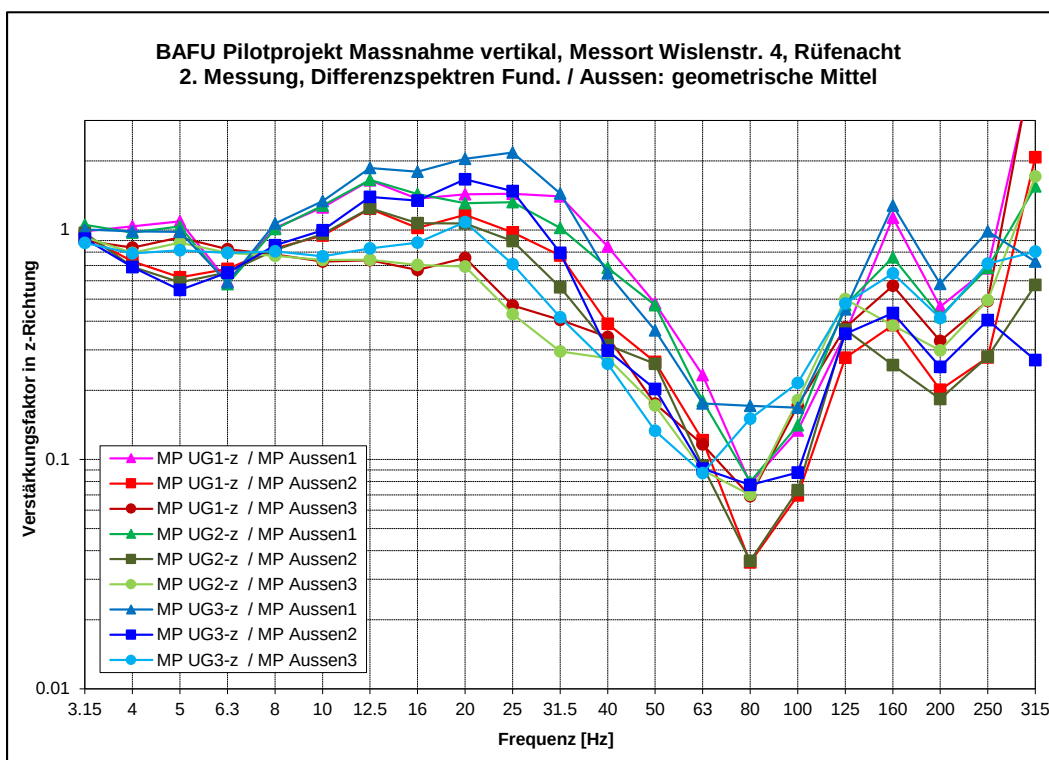


Transferspektren MP UG3/MP Aussen3, als Beispiel für Streuung der Einzelspektren

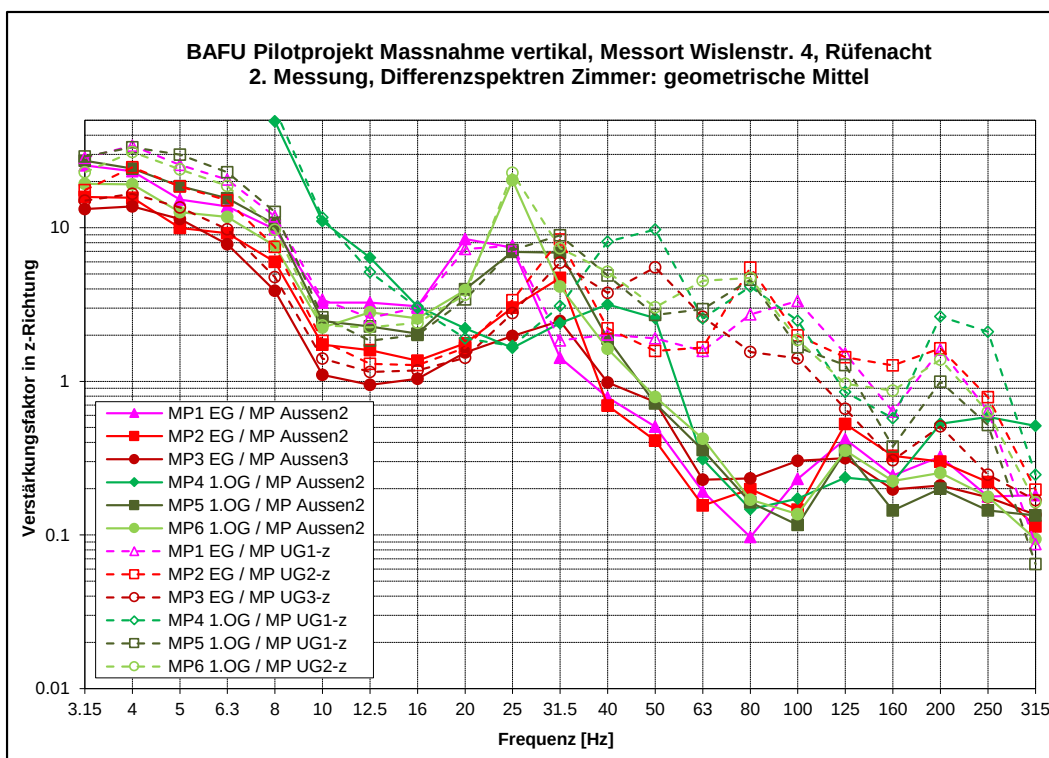


Transferspektren MP6 1.OG/MP Aussen2, als Beispiel für Streuung der Einzelspektren

Beilage 6.1: 2. Messung, ausgewählte Transferspektren

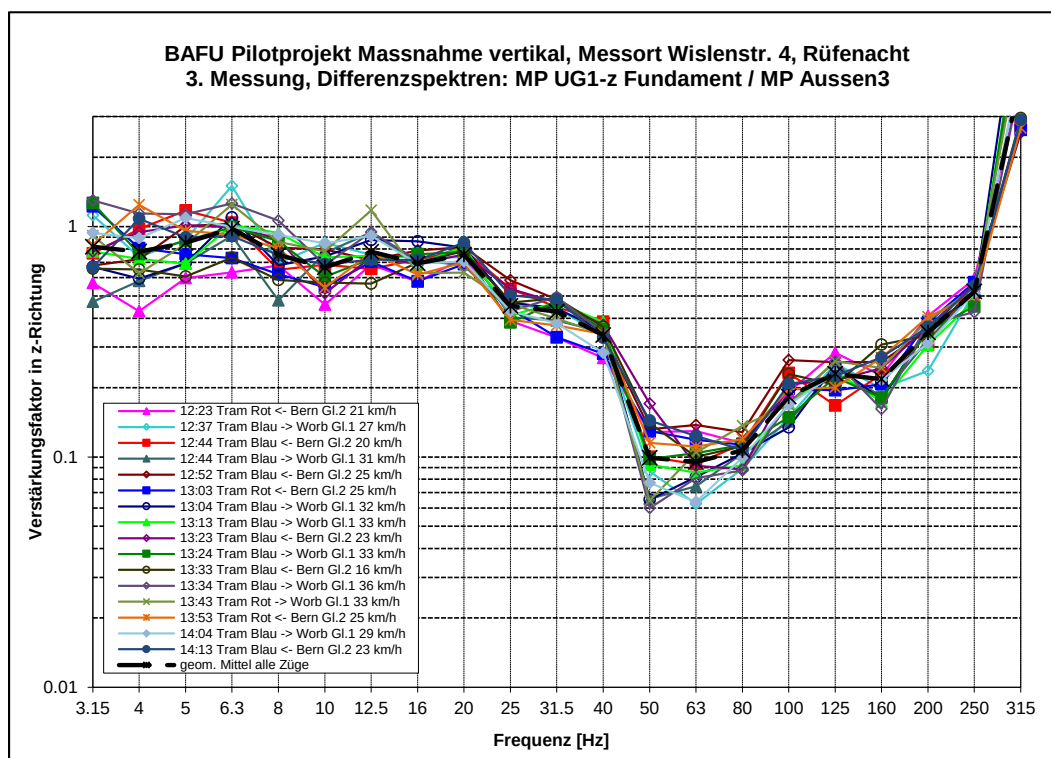


Geom. Mittel der Transferspektren, Fundament-MP gegenüber MP Aussen

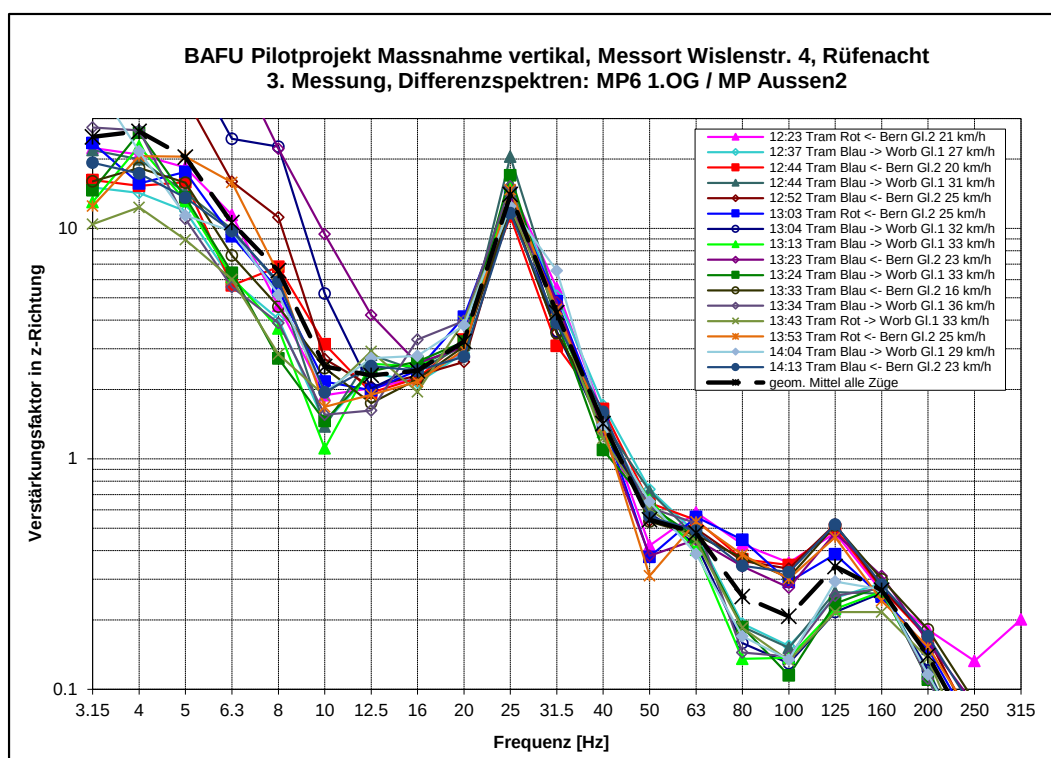


Geom. Mittel der Transferspektren, Gebäude-MP gegenüber MP Aussen u. Fundament

Beilage 6.2: 3. Messung, ausgewählte Transferspektren

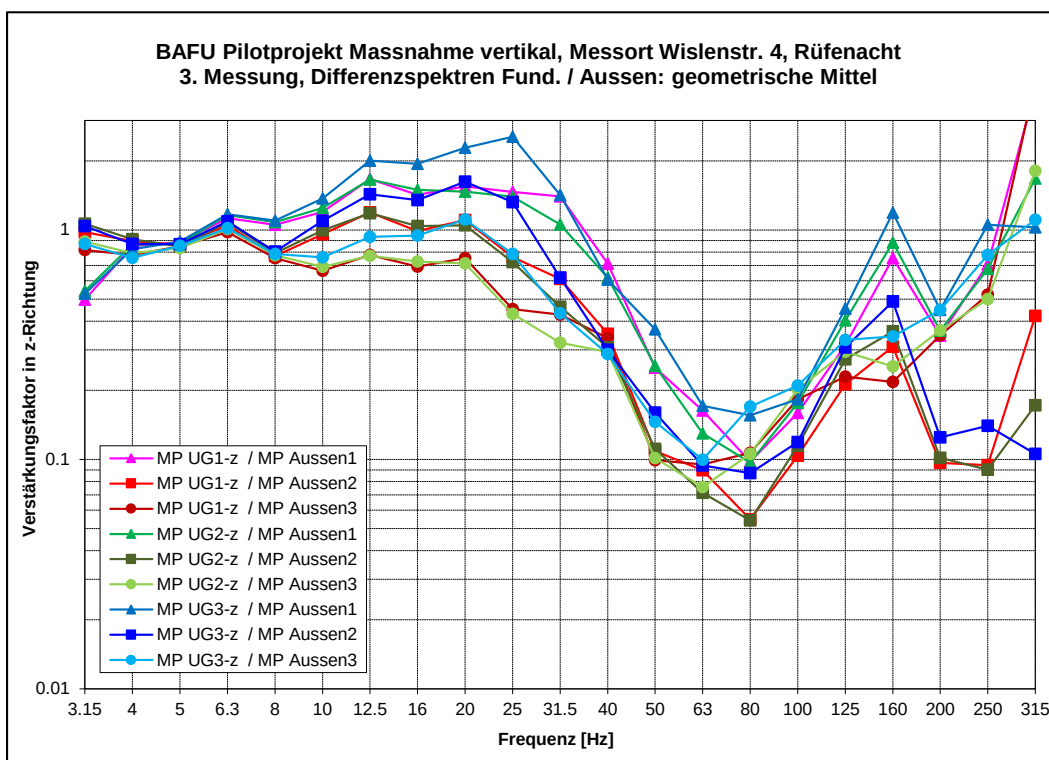


Transferspektren MP UG3/MP Aussen3, als Beispiel für Streuung der Einzelspektren

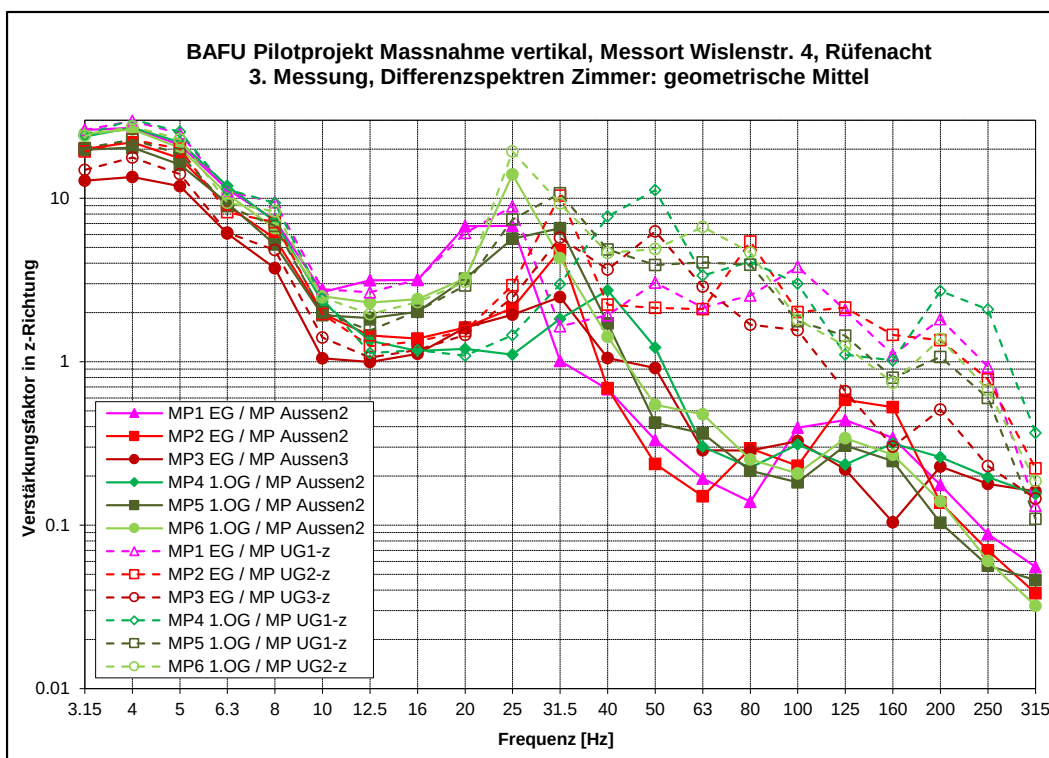


Transferspektren MP6 1.OG/MP Aussen2, als Beispiel für Streuung der Einzelspektren

Beilage 6.2: 3. Messung, ausgewählte Transferspektren

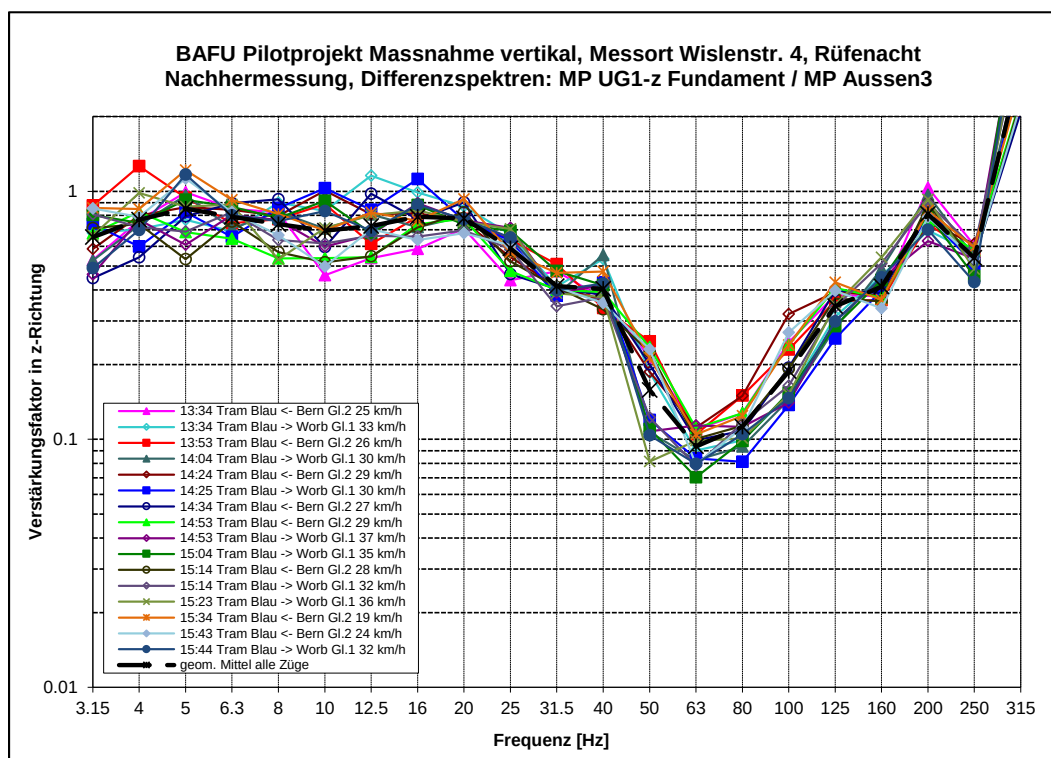


Geom. Mittel der Transferspektren, Fundament-MP gegenüber MP Aussen

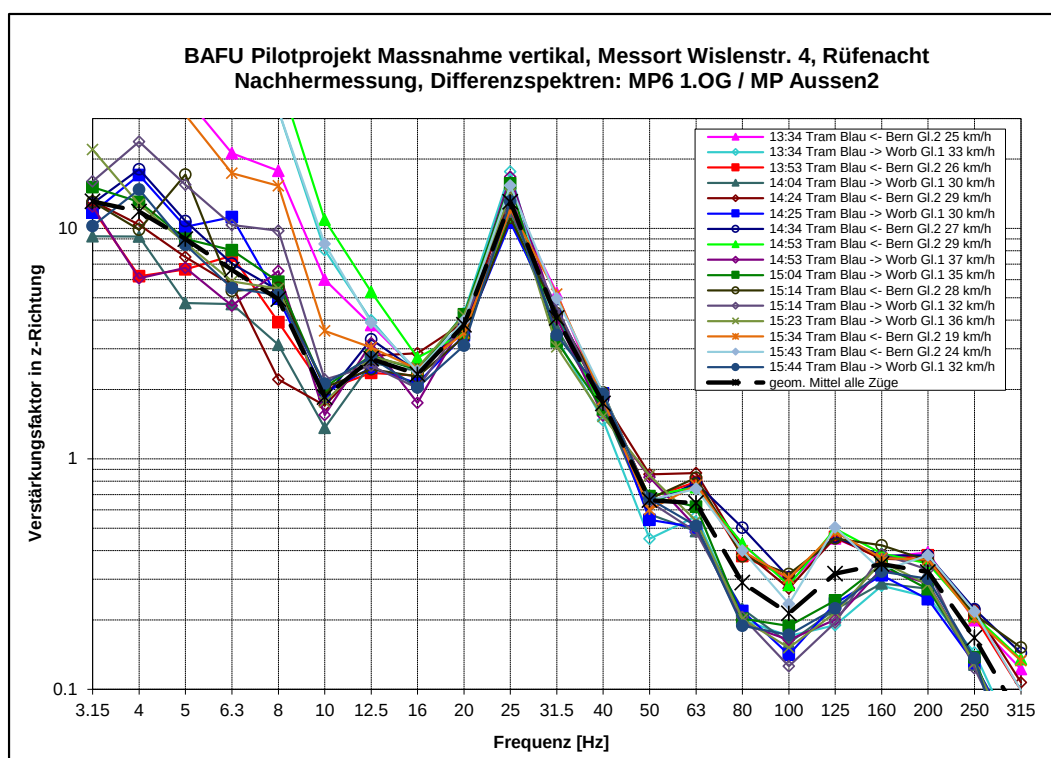


Geom. Mittel der Transferspektren, Gebäude-MP gegenüber MP Aussen u. Fundament

Beilage 6.3: Nachhermessung, ausgewählte Transferspektren

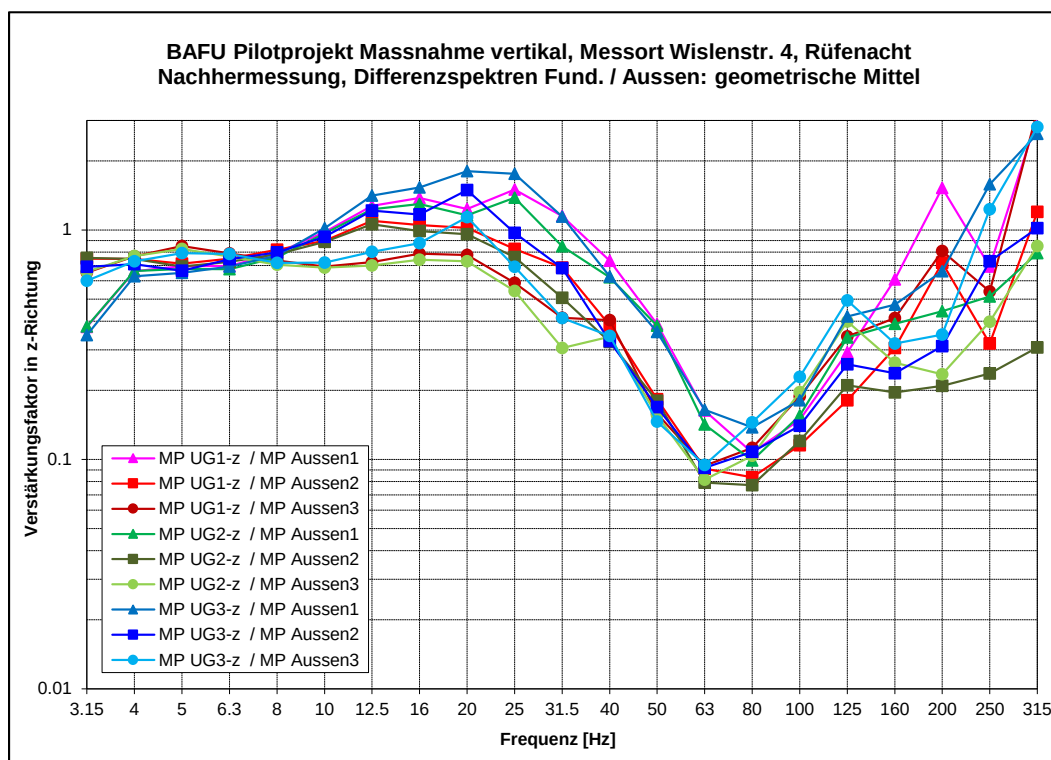


Transferspektren MP UG3/MP Aussen3, als Beispiel für Streuung der Einzelspektren

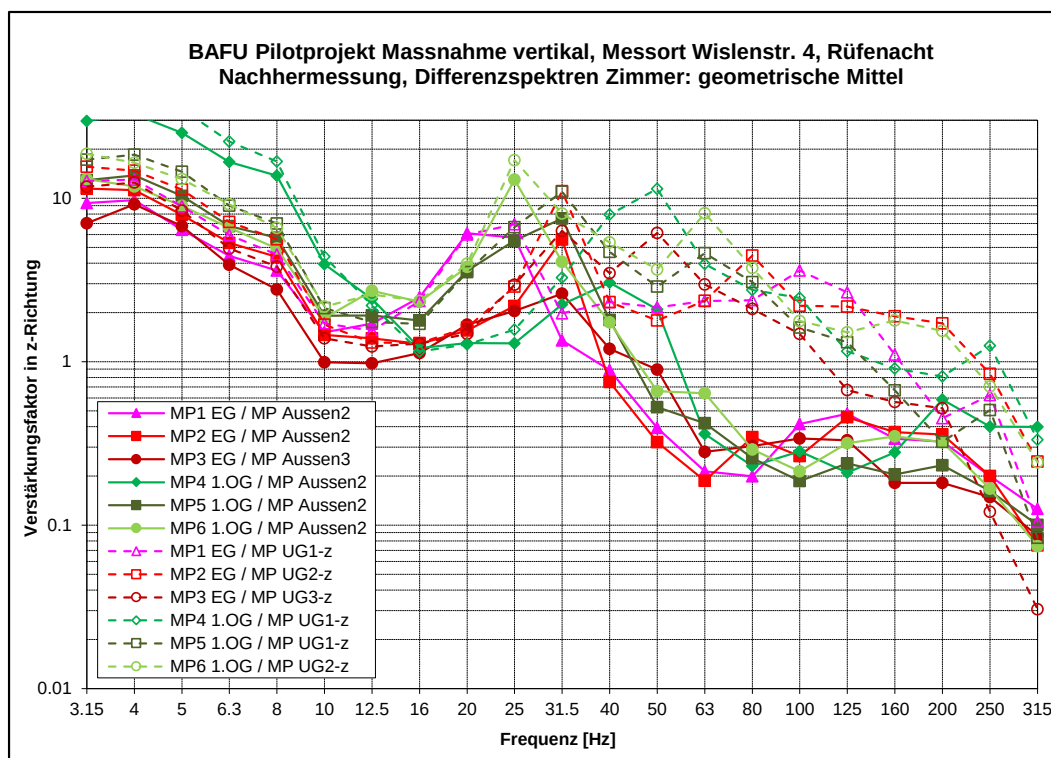


Transferspektren MP6 1.OG/MP Aussen2, als Beispiel für Streuung der Einzelspektren

Beilage 6.3: Nachhermessung, ausgewählte Transferspektren



Geom. Mittel der Transferspektren, Fundament-MP gegenüber MP Aussen



Geom. Mittel der Transferspektren, Gebäude-MP gegenüber MP Aussen u. Fundament

Beilage 7:

Auswertung Schall der Zwischenmessungen und Nachhermessung

(Total 3 Seiten)

Beilage 7.1: 2. Messung vom 6. Januar 2023

Projektname BAFU Wislenstrasse 4, Rüfenacht Erschütterungen / Körperschall						Auftrag N° 20.04321		Trombik Ingenieure AG Limmattalstrasse 344 CH - 8049 Zürich		
E- und KS-Messungen										
MESSAUSWERTUNG VOM 06.01.2023						Name: AE		Seite 1		
Zug Nr.	Uhr- zeit	Zug Richtung		Gleis Nr.	Geschw. keit km/h	Zugs- typ	Waschküche	Schlafzi.	Gästezi.	Kinderzi.
		W Bern	E Worb				LA _{eq} (UG) dBA (bis 250 Hz)	LA _{eq} (EG) dBA (bis 250 Hz)	LA _{eq} (UG) dBA (bis 250 Hz)	LA _{eq} (EG) dBA (bis 250 Hz)
1	13:22:56	x		2	20	Tram blau	31.7	26.9	27.0	26.9
2	13:24:43		x	1	31	Tram blau				
3	13:33:39	x		2	19	Tram blau	32.1	27.3	27.2	27.0
4	13:34:11		x	1	35	Tram blau				
5	13:43:13	x		2	21	Tram blau				
6	13:44:32		x	1	32	Tram rot	30.7	27.0	26.3	26.7
7	13:53:40	x		2	21	Tram rot	32.4	26.0	25.5	25.5
8	13:54:50		x	1	37	Tram blau	34.5	30.0	29.9	31.5
9	14:02:21	x		2	17	Tram blau	31.7	27.0	26.9	26.3
10	14:04:55		x	1	30	Tram blau	34.8	31.6	29.3	31.2
11	14:13:02	x		2	18	Tram blau	33.3	29.6	29.0	29.0
12	14:13:34		x	1	31	Tram blau	33.3	29.2	28.2	29.4
13	14:22:20	x		2	18	Tram blau	34.3	28.8	29.0	28.4
14	14:23:04		x	1	33	Tram rot	32.5	27.7	26.6	28.0
15	14:34:00	x		2	19	Tram rot				
16	14:34:33		x	1	33	Tram blau	34.2	29.5	29.0	29.6
17	14:43:05	x		2	18	Tram blau				
18	14:43:42		x	1	27	Tram blau	33.5	29.5	28.5	29.8
19	14:52:41	x		2	17	Tram blau				
20	14:55:41		x	1	38	Tram blau	33.2	28.9	28.4	29.2
21	15:03:48	x		2	19	Tram blau				
22	15:04:35		x	1	32	Tram blau				
23	15:13:13	x		2	18	Tram blau				
24	15:13:51		x	1	33	Tram rot				
25	15:24:00	x		2	19	Tram rot				
26	15:24:35		x	1	29	Tram blau	33.0	29.7	28.3	29.7
27	15:32:12	x		2	18	Tram blau				
28	15:34:30		x	1	30	Tram blau	34.0	30.6	29.1	31.5

	Anzahl					
tot	16	LA _{eq,tot}	33.2	28.9	28.2	29.1
Gl. 1	10	LA _{eq,Gl.1}	33.5	29.5	28.5	29.9
Gl. 1 rot	2	LA _{eq,Gl.1,rot}	31.7	27.4	26.5	27.4
Gl. 1 blau	8	LA _{eq,Gl.1,blau}	33.9	29.9	28.9	30.3
Gl. 2	6	LA _{eq,Gl.2}	32.7	27.8	27.6	27.3
Gl. 2 rot	1	LA _{eq,Gl.2,rot}	32.4	26.0	25.5	25.5
Gl. 2 blau	5	LA _{eq,Gl.2,blau}	32.8	28.0	27.9	27.6
Max		LA _{eq,tot}	34.8	31.6	29.9	31.5
Gl. 1		LA _{eq,Gl.1}	34.8	31.6	29.9	31.5
Gl. 1 rot		LA _{eq,Gl.1,rot}	32.5	27.7	26.6	28.0
Gl. 1 blau		LA _{eq,Gl.1,blau}	34.8	31.6	29.9	31.5
Gl. 2		LA _{eq,Gl.2}	34.3	29.6	29.0	29.0
Gl. 2 rot		LA _{eq,Gl.2,rot}	32.4	26.0	25.5	25.5
Gl. 2 blau		LA _{eq,Gl.2,blau}	34.3	29.6	29.0	29.0

Beilage 7.2: 3. Messung vom 16. Januar 2023

Projektname BAFU Wislenstrasse 4, Rüfenacht Erschütterungen / Körperschall						Auftrag N° 20.04321		Trombik Ingenieure AG Limmattalstrasse 344 CH - 8049 Zürich		
E- und KS-Messungen										
MESSAUSWERTUNG VOM 16.01.2023						Name: AE		Seite 1		
Zug Nr.	Uhr- zeit	Zug Richtung		Gleis Nr.	Geschw. keit km/h	Zugs- typ	Waschküche	Schlafzi.	Gästezi.	Kinderzi.
		W Bern	E Worb				LA _{eq} (UG) dBA (bis 250 Hz)	LA _{eq} (EG) dBA (bis 250 Hz)	LA _{eq} (UG) dBA (bis 250 Hz)	LA _{eq} (EG) dBA (bis 250 Hz)
1	12:03:16	x		2	18	Tram blau				
2	12:03:53		x	1	29	Tram blau				
3	12:12:14	x		2	23	Tram blau				
4	12:12:47		x	1	32	Tram rot				
5	12:23:19	x		2	21	Tram rot	30.8	30.3	28.0	34.8
6	12:23:50		x	1	35	Tram blau				
7	12:32:20	x		2	17	Tram blau				
8	12:37:03		x	1	27	Tram blau	34.1	30.1	29.5	30.0
9	12:43:43	x		2	20	Tram blau	33.2	28.9	29.6	27.6
10	12:44:16		x	1	31	Tram blau	34.1	29.5	28.9	29.7
11	12:52:26	x		2	25	Tram blau	32.4	28.5	28.9	27.4
12	12:53:16		x	1	32	Tram rot				
13	13:03:34	x		2	25	Tram rot	29.1	25.1	26.4	24.9
14	13:04:11		x	1	32	Tram blau	33.2	28.8	29.0	29.8
15	13:12:31	x		2	24	Tram blau				
16	13:13:18		x	1	33	Tram blau	35.7	31.9	31.4	31.9
17	13:23:14	x		2	23	Tram blau	30.8	29.0	28.2	32.2
18	13:23:48		x	1	33	Tram blau	34.6	30.6	30.6	31.4
19	13:32:44	x		2	16	Tram blau	31.5	29.2	28.6	32.7
20	13:33:51		x	1	36	Tram blau	34.0	30.3	29.5	31.3
21	13:42:58	x		2	18	Tram blau				
22	13:43:30		x	1	33	Tram rot	32.5	28.0	27.1	27.4
23	14:53:00	x		2	25	Tram rot	29.1	25.9	26.6	25.5
24	14:53:43		x	1	35	Tram blau				
25	14:02:23	x		2	23	Tram blau				
26	14:04:15		x	1	29	Tram blau	33.3	30.1	29.6	30.8
27	14:13:29	x		2	23	Tram blau	31.4	28.0	29.0	27.0
28	14:14:00		x	1	27	Tram blau				

	Anzahl					
tot	16	LA _{eq,tot}	32.9	29.3	29.0	30.5
Gl. 1	8	LA _{eq,Gl.1}	34.1	30.0	29.6	30.5
Gl. 1 rot	1	LA _{eq,Gl.1,rot}	32.5	28.0	27.1	27.4
Gl. 1 blau	7	LA _{eq,Gl.1,blau}	34.2	30.3	29.9	30.8
Gl. 2	8	LA _{eq,Gl.2}	31.2	28.4	28.3	30.4
Gl. 2 rot	3	LA _{eq,Gl.2,rot}	29.7	27.8	27.1	30.9
Gl. 2 blau	5	LA _{eq,Gl.2,blau}	31.9	28.7	28.9	30.1
Max		LA _{eq,tot}	35.7	31.9	31.4	34.8
Gl. 1		LA _{eq,Gl.1}	35.7	31.9	31.4	31.9
Gl. 1 rot		LA _{eq,Gl.1,rot}	32.5	28.0	27.1	27.4
Gl. 1 blau		LA _{eq,Gl.1,blau}	35.7	31.9	31.4	31.9
Gl. 2		LA _{eq,Gl.2}	33.2	30.3	29.6	34.8
Gl. 2 rot		LA _{eq,Gl.2,rot}	30.8	30.3	28.0	34.8
Gl. 2 blau		LA _{eq,Gl.2,blau}	33.2	29.2	29.6	32.7

Beilage 7.3: Nachhermessung vom 29. März 2023

Projektname BAFU Wislenstrasse 4, Rüfenacht Erschütterungen / Körperschall						Auftrag N° 20.04321			Trombik Ingenieure AG Limmattalstrasse 344 CH - 8049 Zürich	
E- und KS-Messungen										
MESSAUSWERTUNG VOM 29.03.2023						Name: AE		Seite 1		
Zug Nr.	Uhr- zeit	Zug Richtung		Gleis Nr.	Geschw. keit km/h	Zugs- typ	Waschküche	Schlafzi.	Gästezi.	Kinderzi.
		W Bern	E Worb				LA _{eq} (UG) dBA (bis 250 Hz)	LA _{eq} (EG) dBA (bis 250 Hz)	LA _{eq} (UG) dBA (bis 250 Hz)	LA _{eq} (EG) dBA (bis 250 Hz)
1	13:34:00	x		2	-	Tram blau	30.9	28.4	30.7	28.2
2	13:34:40		x	1	-	Tram blau	36.0	30.3	32.4	30.7
3	13:43:35	x		2	20	Tram blau				
4	13:44:40		x	1	29	Tram blau				
5	13:53:30	x		2	26	Tram blau	32.6	30.4	32.1	29.5
6	13:54:10		x	1	25	Tram blau				
7	14:03:30	x		2	24	Tram blau				
8	14:04:10		x	1	30	Tram blau	33.2	29.2	31.2	29.9
9	14:14:20	x		2	21	Tram blau				
10	14:15:30		x	1	34	Tram blau				
11	14:24:30	x		2	29	Tram blau	31.5	29.2	30.3	28.9
12	14:25:00		x	1	30	Tram blau	34.3	30.6	32.7	30.7
13	14:34:50	x		2	27	Tram blau	31.8	29.0	31.1	28.6
14	14:35:20		x	1	32	Tram blau				
15	14:44:10	x		2	24	Tram blau				
16	14:45:00		x	1	33	Tram blau				
17	14:53:20	x		2	29	Tram blau	31.3	27.9	30.9	28.0
18	14:54:00		x	1	37	Tram blau	35.7	30.4	32.2	30.2
19	15:04:10	x		2	21	Tram blau				
20	15:04:40		x	1	35	Tram blau	35.5	31.6	34.1	31.3
21	15:14:20	x		2	28	Tram blau	32.7	29.9	32.1	29.1
22	15:14:50		x	1	32	Tram blau	31.8	28.1	28.9	28.5
23	15:23:30	x		2	19	Tram blau				
24	15:24:00		x	1	36	Tram blau	34.2	29.6	31.7	30.6
25	15:34:10	x		2	19	Tram blau	31.6	29.2	31.0	28.4
26	15:34:20		x	1	35	Tram blau				
27	15:43:30	x		2	24	Tram blau	31.2	28.2	30.2	28.0
28	15:44:40		x	1	32	Tram blau	34.8	31.4	34.1	31.2

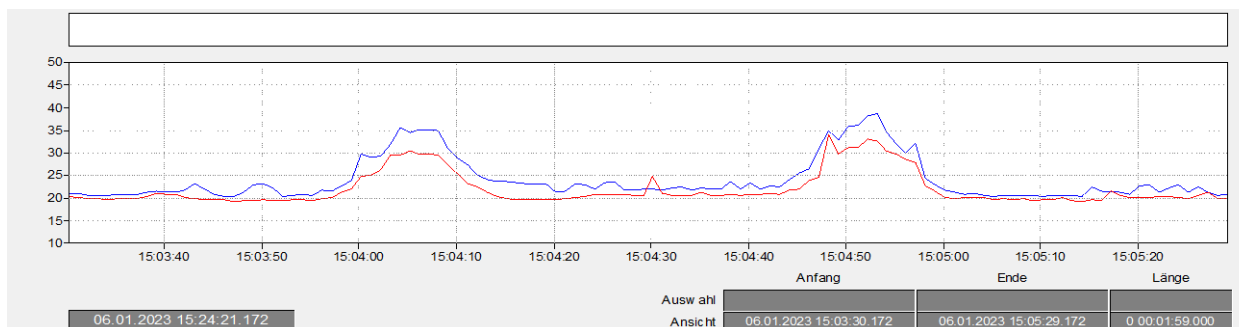
	Anzahl					
tot	16	LA _{eq,tot}	33.4	29.7	31.8	29.6
Gl. 1	8	LA _{eq,Gl.1}	34.6	30.3	32.4	30.5
Gl. 1 rot	0	LA _{eq,Gl.1,rot}	-	-	-	-
Gl. 1 blau	8	LA _{eq,Gl.1,blau}	34.6	30.3	32.4	30.5
Gl. 2	8	LA _{eq,Gl.2}	31.7	29.1	31.1	28.6
Gl. 2 rot	0	LA _{eq,Gl.2,rot}	-	-	-	-
Gl. 2 blau	8	LA _{eq,Gl.2,blau}	31.7	29.1	31.1	28.6
Max		LA _{eq,tot}	36.0	31.6	34.1	31.3
Gl. 1		LA _{eq,Gl.1}	36.0	31.6	34.1	31.3
Gl. 1 rot		LA _{eq,Gl.1,rot}	-	-	-	-
Gl. 1 blau		LA _{eq,Gl.1,blau}	36.0	31.6	34.1	31.3
Gl. 2		LA _{eq,Gl.2}	32.7	30.4	32.1	29.5
Gl. 2 rot		LA _{eq,Gl.2,rot}	-	-	-	-
Gl. 2 blau		LA _{eq,Gl.2,blau}	32.7	30.4	32.1	29.5

Beilage 8:

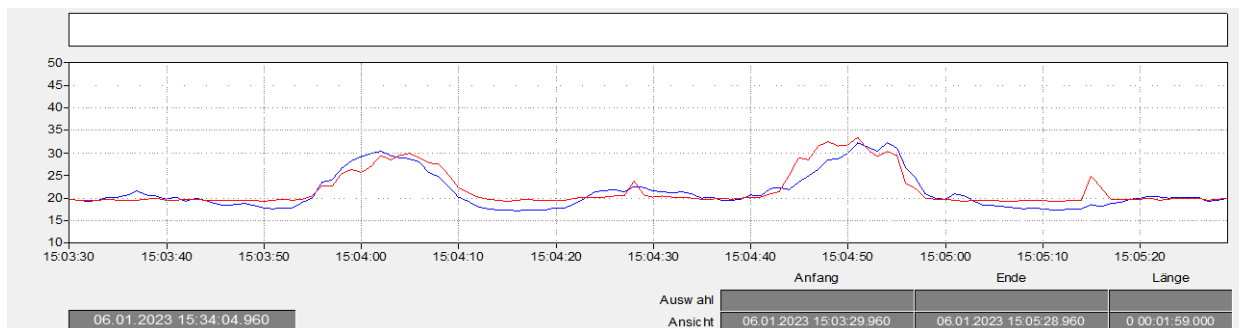
Schallmessungen: Ausgewählte Zeitverläufe der Zwischenmessungen und Nachhermessung

(Total 3 Seiten)

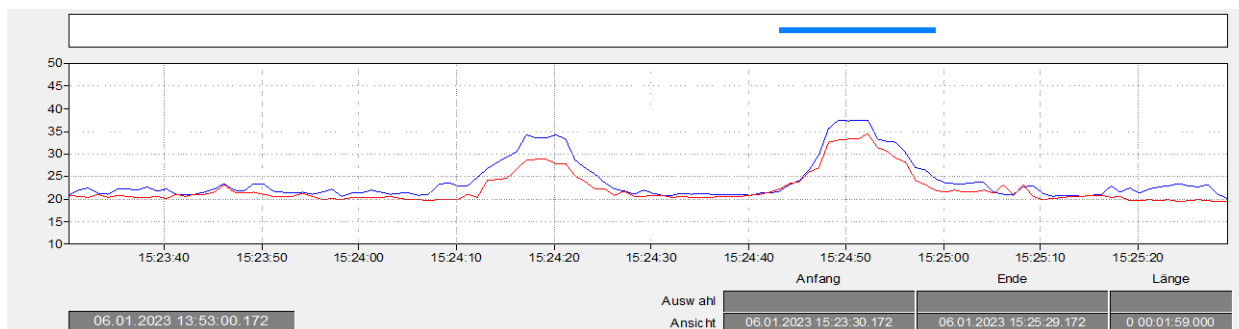
Beilage 8.1: 2. Messung, ausgewählte Zeitverläufe im UG und EG



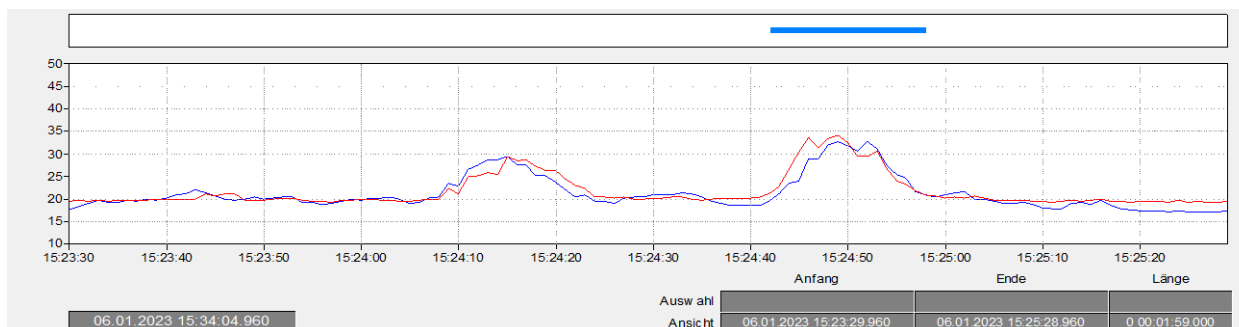
MP UG Waschküche, Mik. 1-1 (blau), MP1 EG Schlafzi., Mik. 1-2 (rot),
Tram um 15:04 Uhr auf Gl. 2 und Gl. 1



MP UG Gästezimmer, Mik. 2-1 (blau), MP2 EG Kinderzi., Mik. 2-2 (rot),
Tram um 15:04 Uhr auf Gl. 2 u. Gl. 1

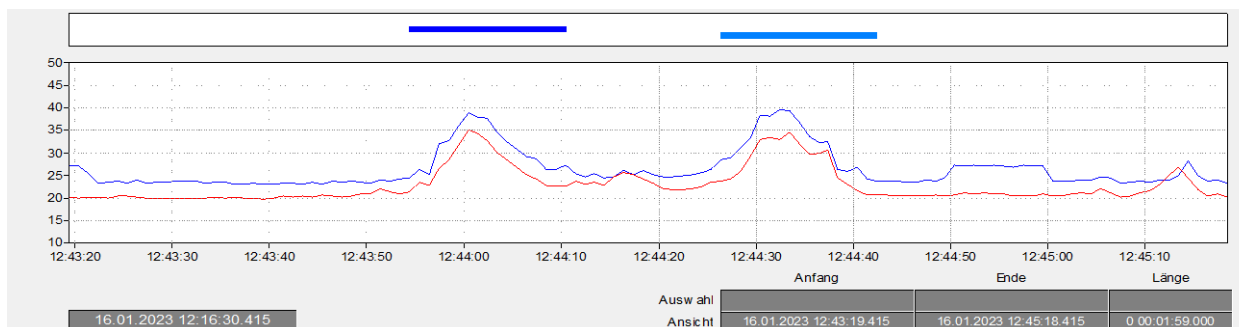


MP UG Waschküche, Mik. 1-1 (blau), MP1 EG Schlafzi., Mik. 1-2 (rot),
Tram um 15:24 Uhr auf Gl. 2 und Gl. 1

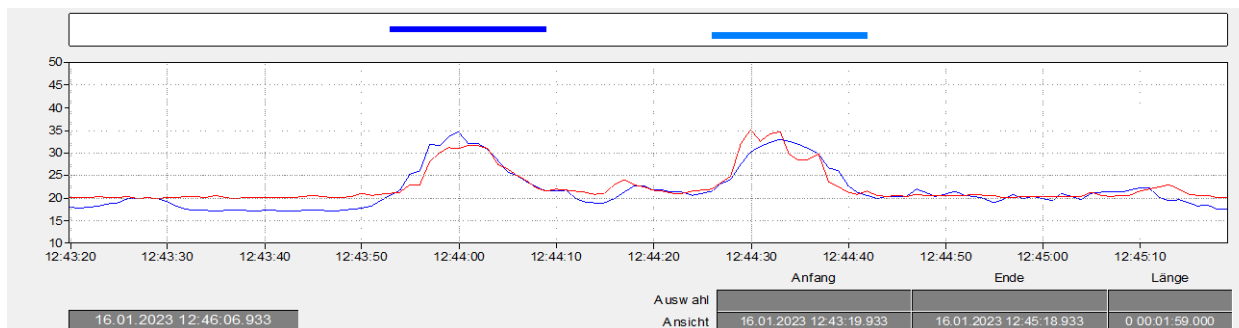


MP UG Gästezimmer, Mik. 2-1 (blau), MP2 EG Kinderzi., Mik. 2-2 (rot),
Tram um 15:24 Uhr auf Gl. 2 u. Gl. 1

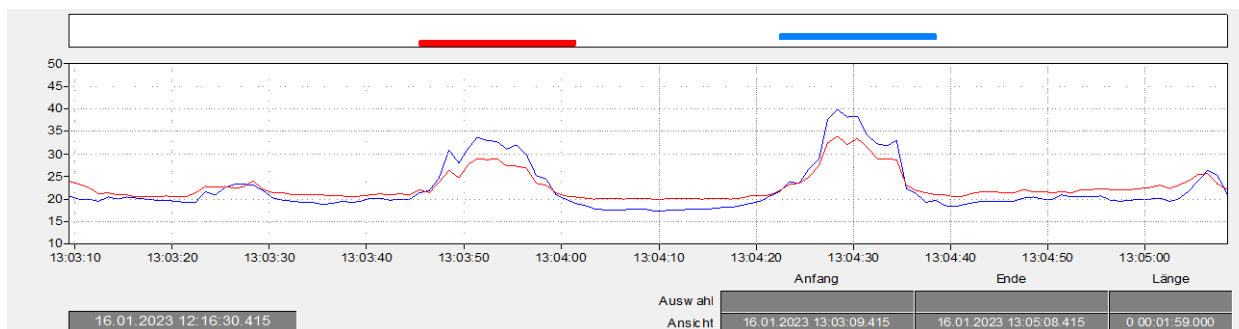
Beilage 8.2: 3. Messung, ausgewählte Zeitverläufe im UG und EG



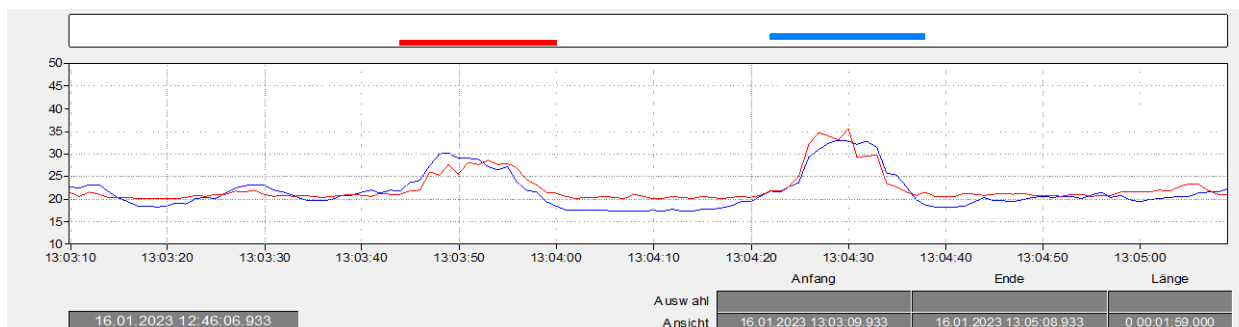
MP UG Waschküche, Mik. 1-1 (blau), MP1 EG Schlafzi., Mik. 1-2 (rot),
Tram um 12:44 Uhr auf Gl. 2 und Gl. 1



MP UG Gästezimmer, Mik. 2-1 (blau), MP2 EG Kinderzi., Mik. 2-2 (rot),
Tram um 12:44 Uhr auf Gl. 2 u. Gl. 1

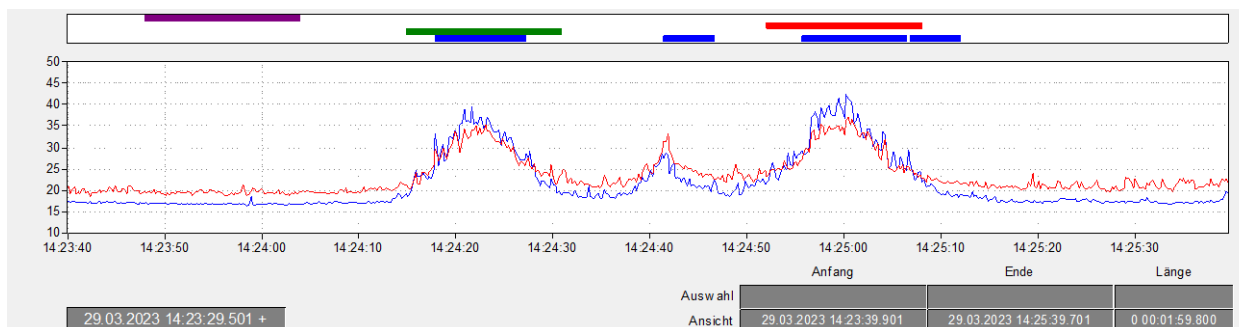


MP UG Waschküche, Mik. 1-1 (blau), MP1 EG Schlafzi., Mik. 1-2 (rot),
Tram um 13:04 Uhr auf Gl. 2 und Gl. 1

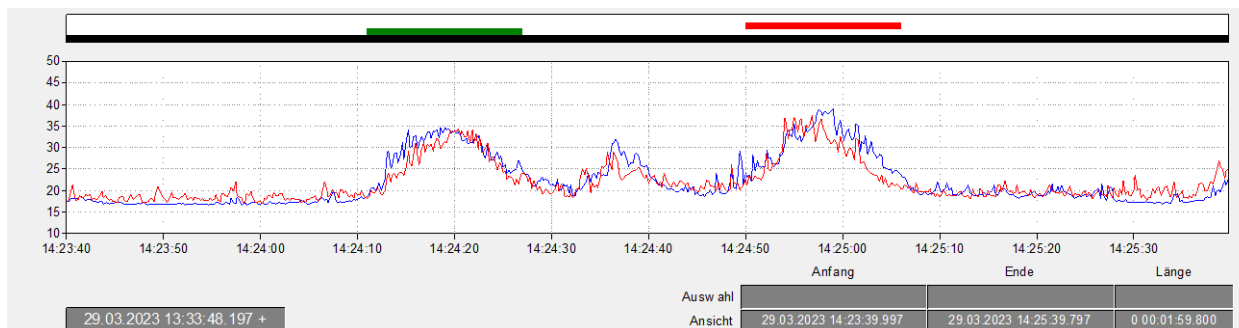


MP UG Gästezimmer, Mik. 2-1 (blau), MP2 EG Kinderzi., Mik. 2-2 (rot),
Tram um 13:04 Uhr auf Gl. 2 u. Gl. 1

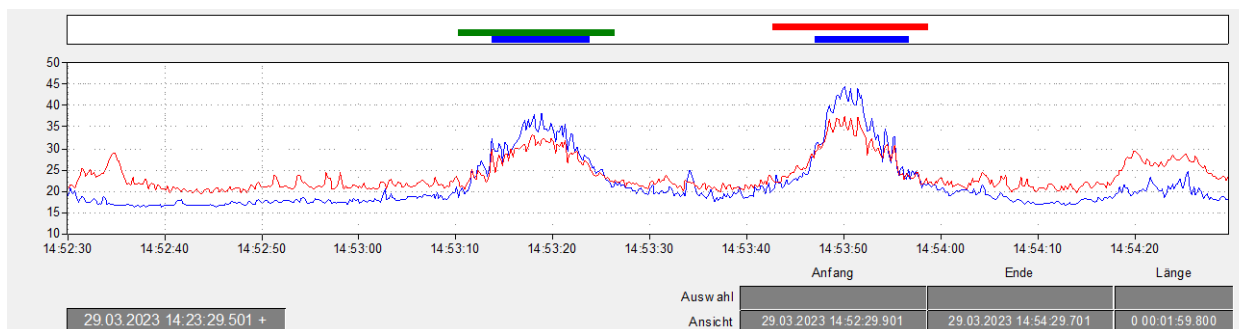
Beilage 8.3: Nachhermess., ausgewählte Zeitverläufe im UG und EG



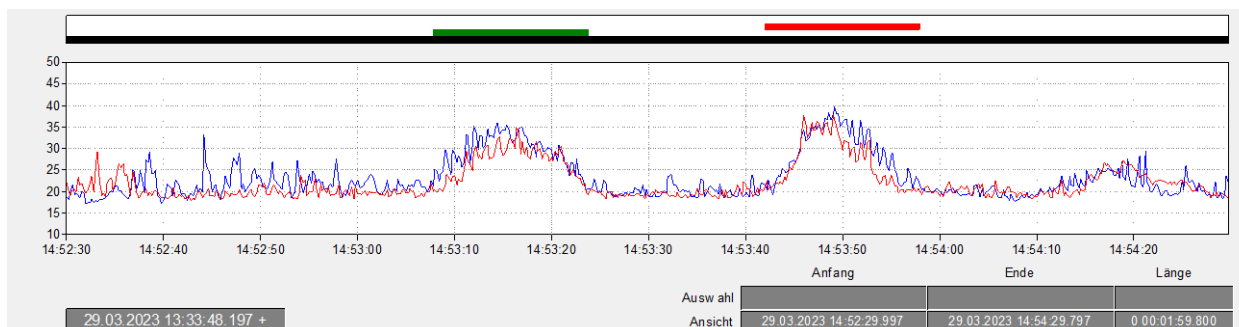
MP UG Waschküche, Mik. 1-1 (blau), MP1 EG Schlafzi., Mik. 1-2 (rot),
Tram um 14:24 Uhr auf Gl. 2 und Gl. 1



MP UG Gästezimmer, Mik. 2-1 (blau), MP2 EG Kinderzi., Mik. 2-2 (rot),
Tram um 14:24 Uhr auf Gl. 2 u. Gl. 1



MP UG Waschküche, Mik. 1-1 (blau), MP1 EG Schlafzi., Mik. 1-2 (rot),
Tram um 14:53 Uhr auf Gl. 2 und Gl. 1



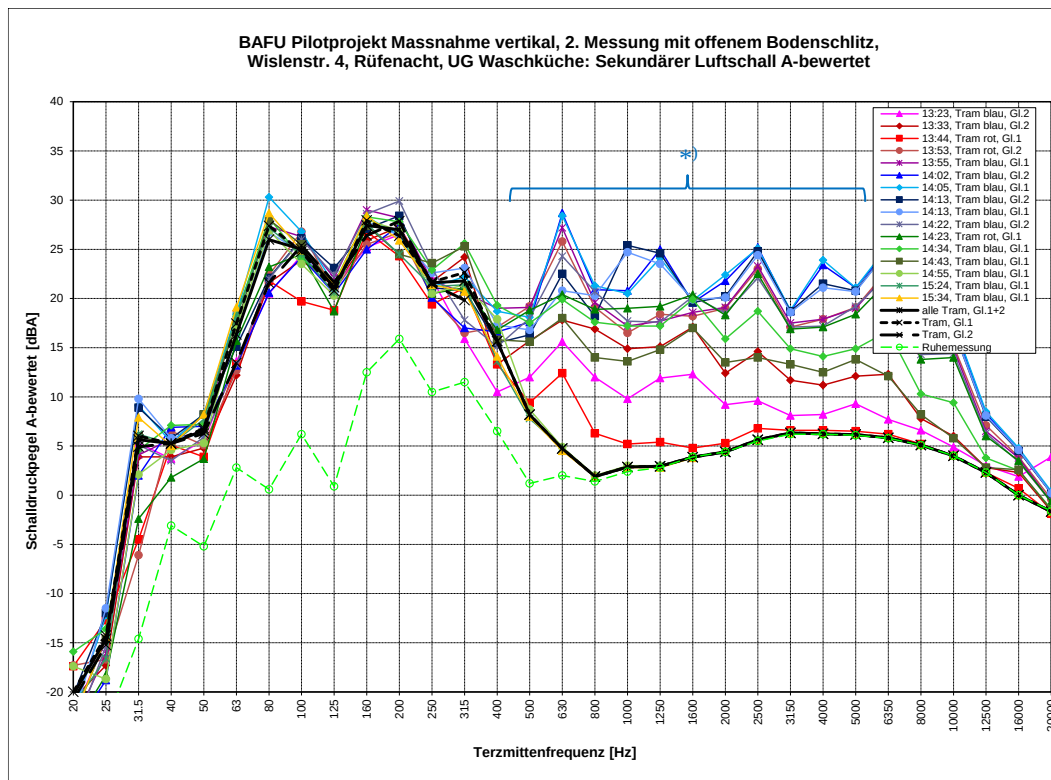
MP UG Gästezimmer, Mik. 2-1 (blau), MP2 EG Kinderzi., Mik. 2-2 (rot),
Tram um 13:42/43 Uhr auf Gl. 2 u. Gl. 1

Beilage 9:

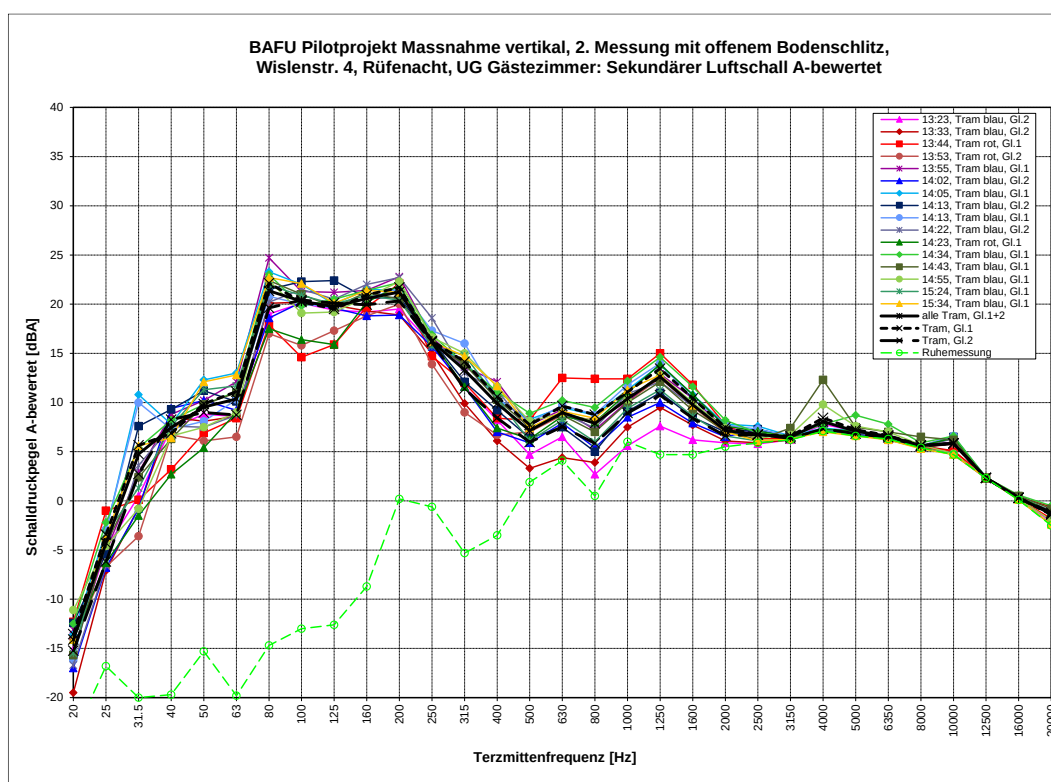
Schallmessungen: Terzbandspektren der Zwischenmessungen und Nachhermessung

(Total 6 Seiten)

Beilage 9.1: 2. Messung, Terzbandspektren Schallmessung A-bewertet im UG

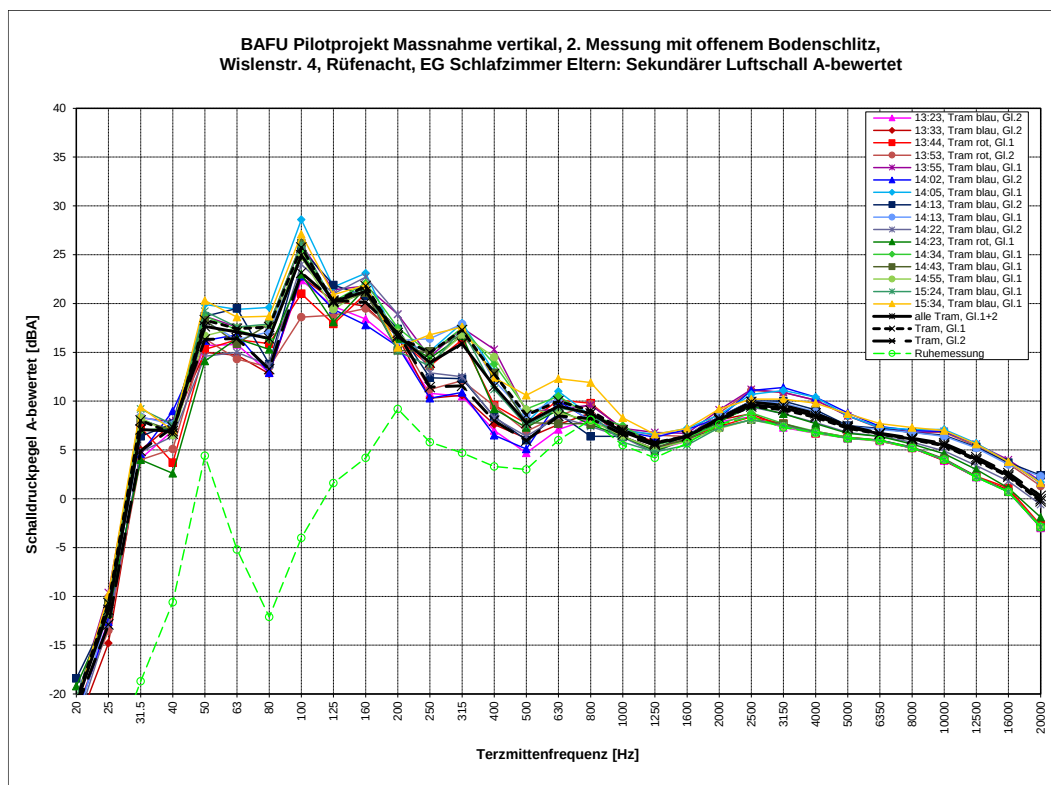


Terzbandspektren A-bewertet der Schallmessung im UG Waschküche Mik. 1-1
*) Störungen durch laufende Wärmepumpe; im Mittelwert eliminiert

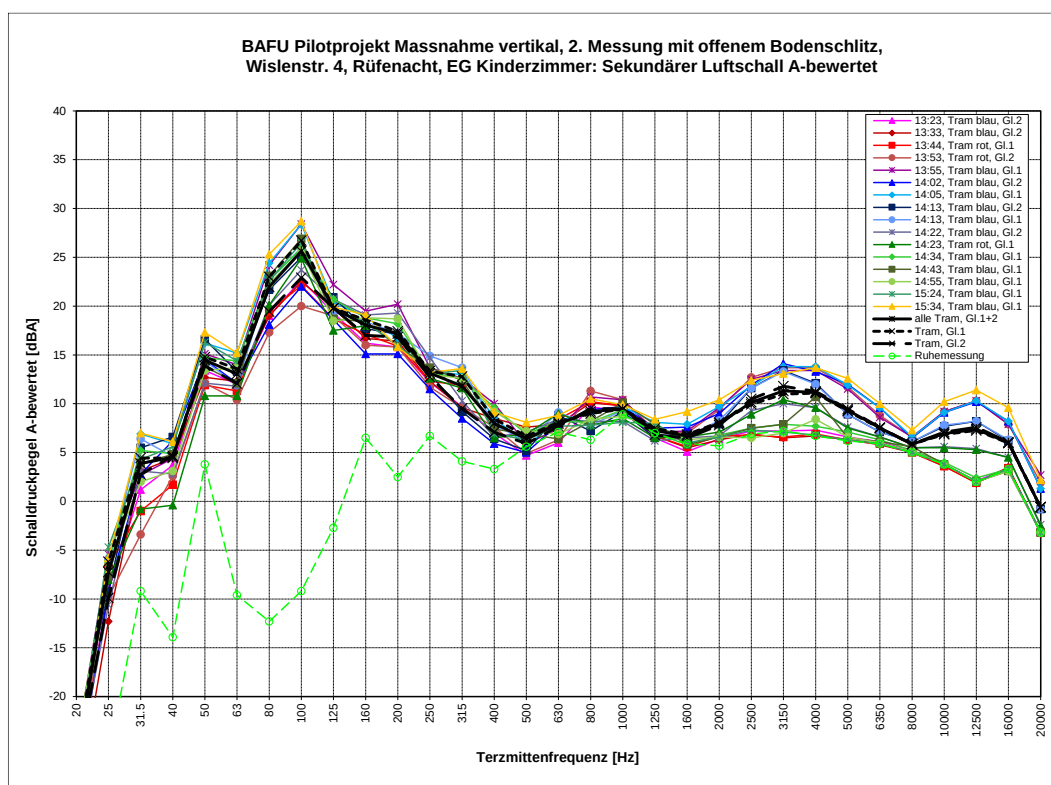


Terzbandspektren A-bewertet der Schallmessung im UG Gästezimmer im Anbau Mik. 2-1

Beilage 9.1: 2. Messung, Terzbandspektren Schallmessung A-bewertet im EG

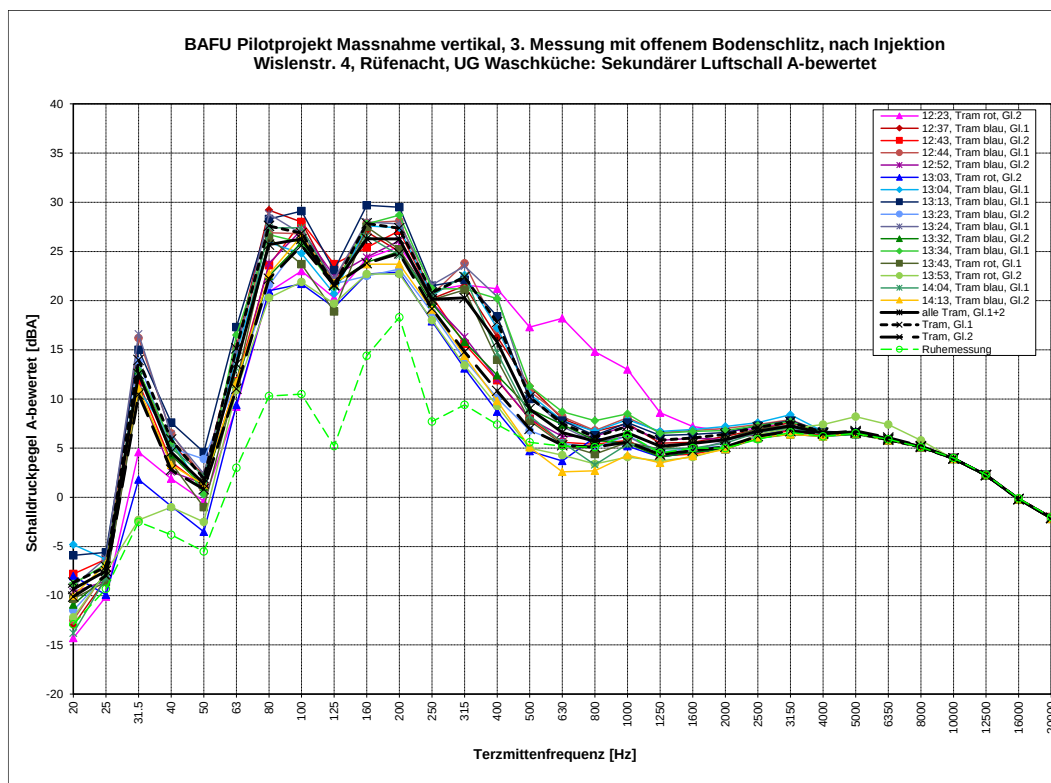


Terzbandspektren A-bewertet der Schallmessung im EG Schlafzimmer Eltern Mik. 1-2

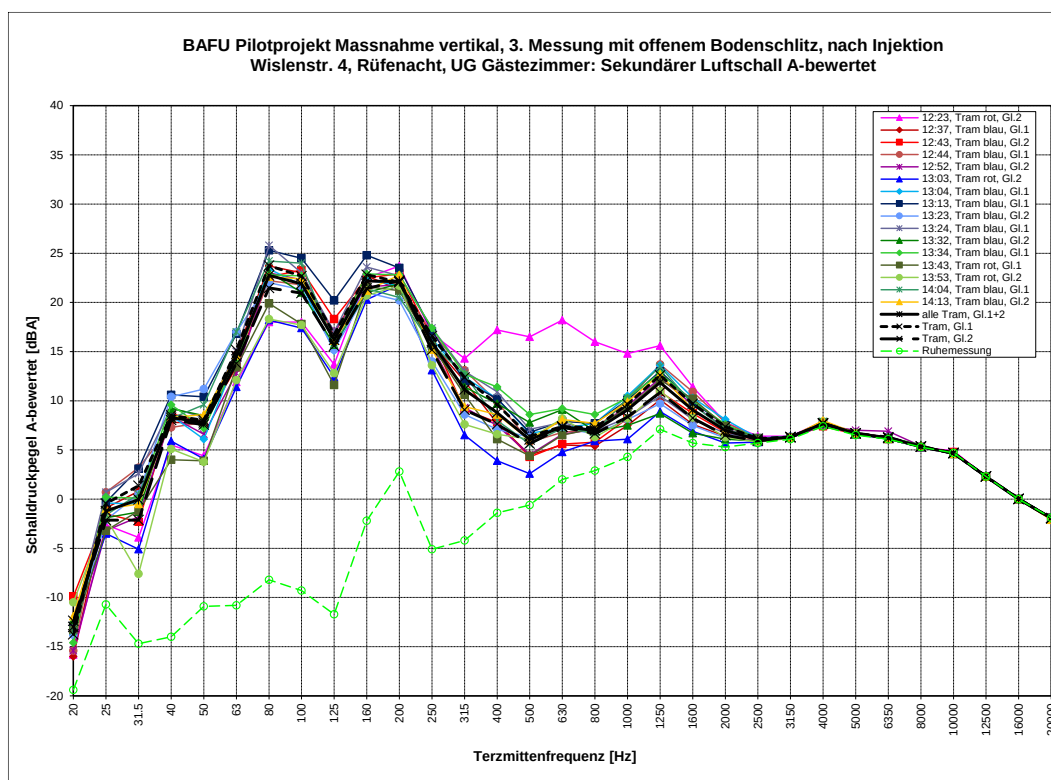


Terzbandspektren A-bewertet der Schallmessung im EG Kinderzimmer Mik. 2-2

Beilage 9.2: 3. Messung, Terzbandspektren Schallmessung A-bewertet im UG

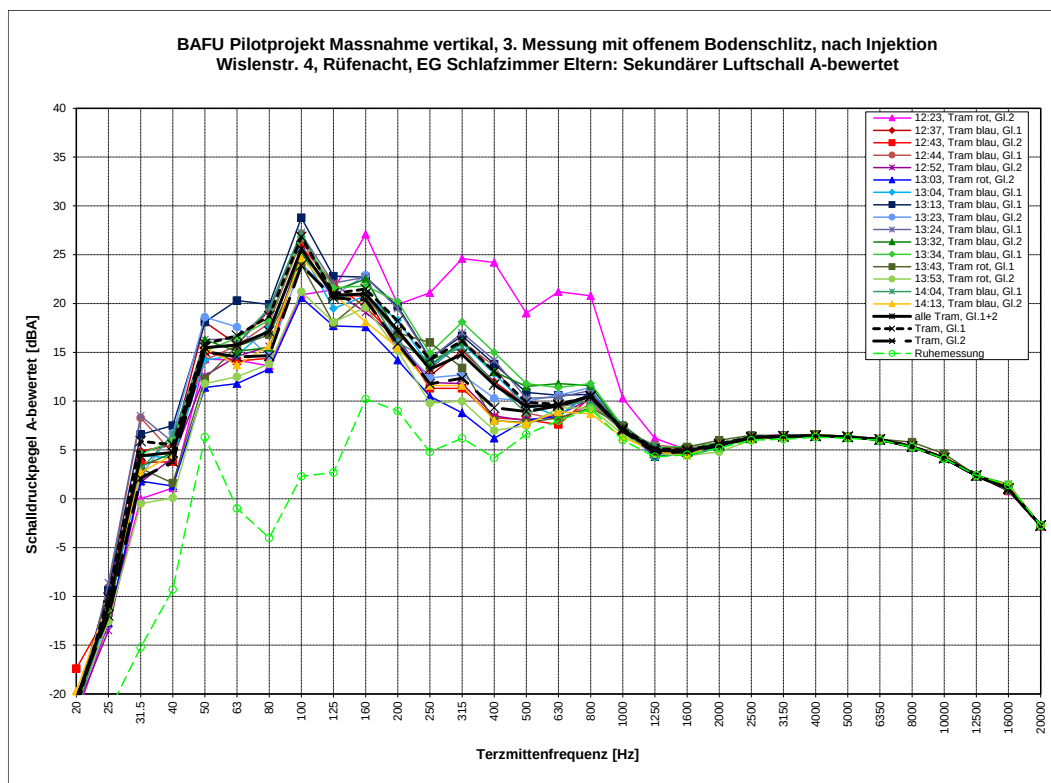


Terzbandspektren A-bewertet der Schallmessung im UG Waschküche Mik. 1-1

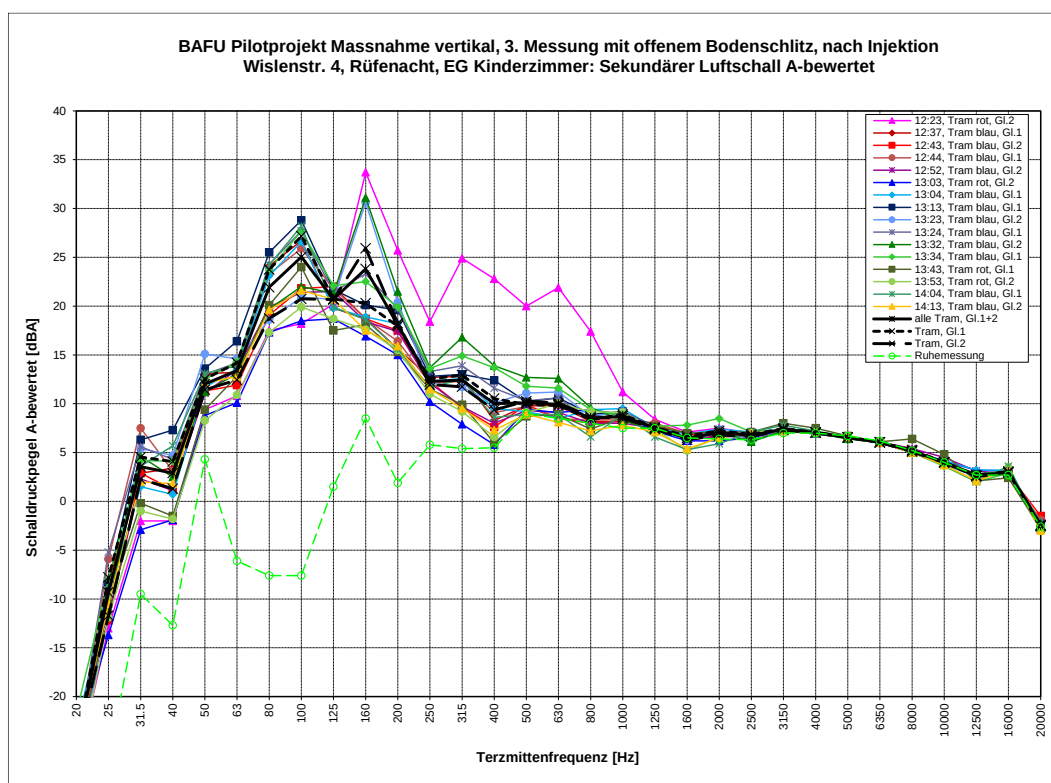


Terzbandspektren A-bewertet der Schallmessung im UG Gästezimmer im Anbau Mik. 2-1

Beilage 9.2: 3. Messung, Terzbandspektren Schallmessung A-bewertet im EG

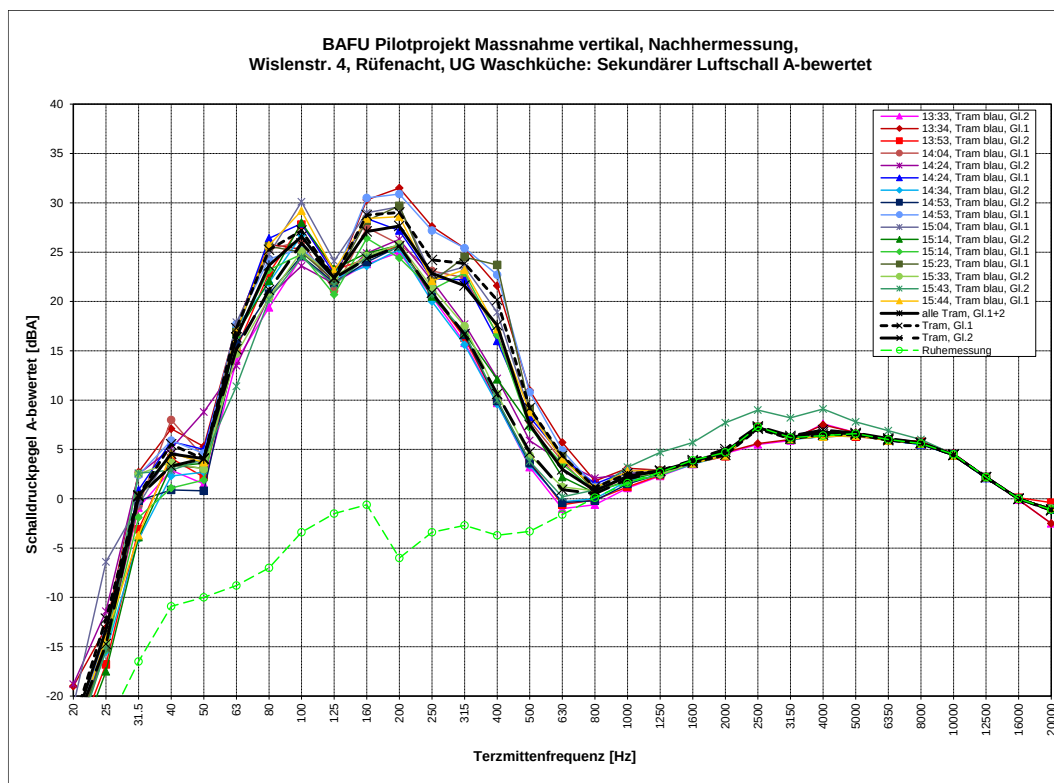


Terzbandspektren A-bewertet der Schallmessung im EG Schlafzimmer Eltern Mik. 1-2

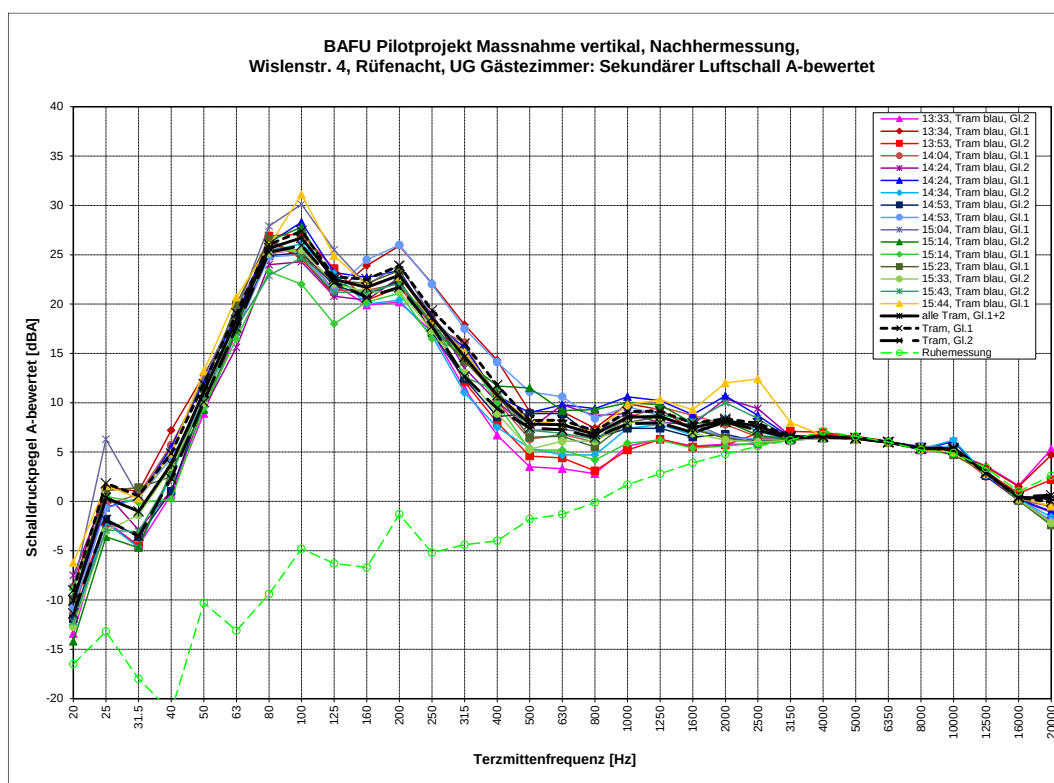


Terzbandspektren A-bewertet der Schallmessung im EG Kinderzimmer Mik. 2-2

Beilage 9.3: Nachermessung, Terzbandspektren Schallmessung A-bewertet im UG

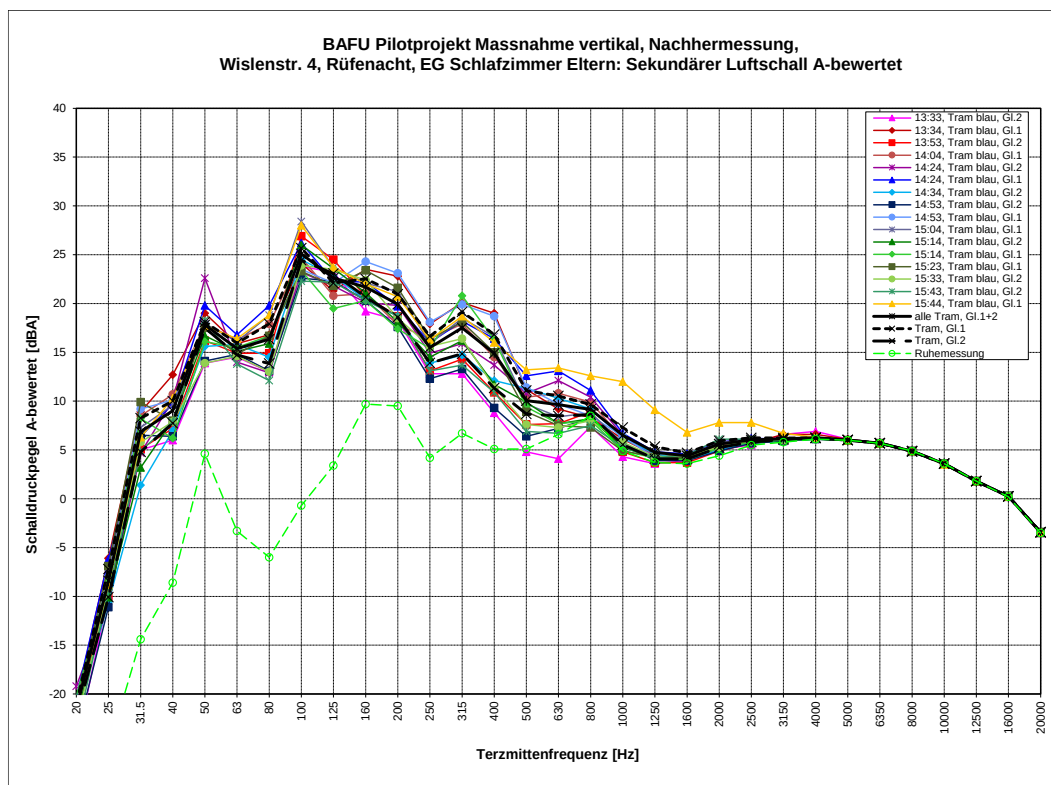


Terzbandspektren A-bewertet der Schallmessung im UG Waschküche Mik. 1-1

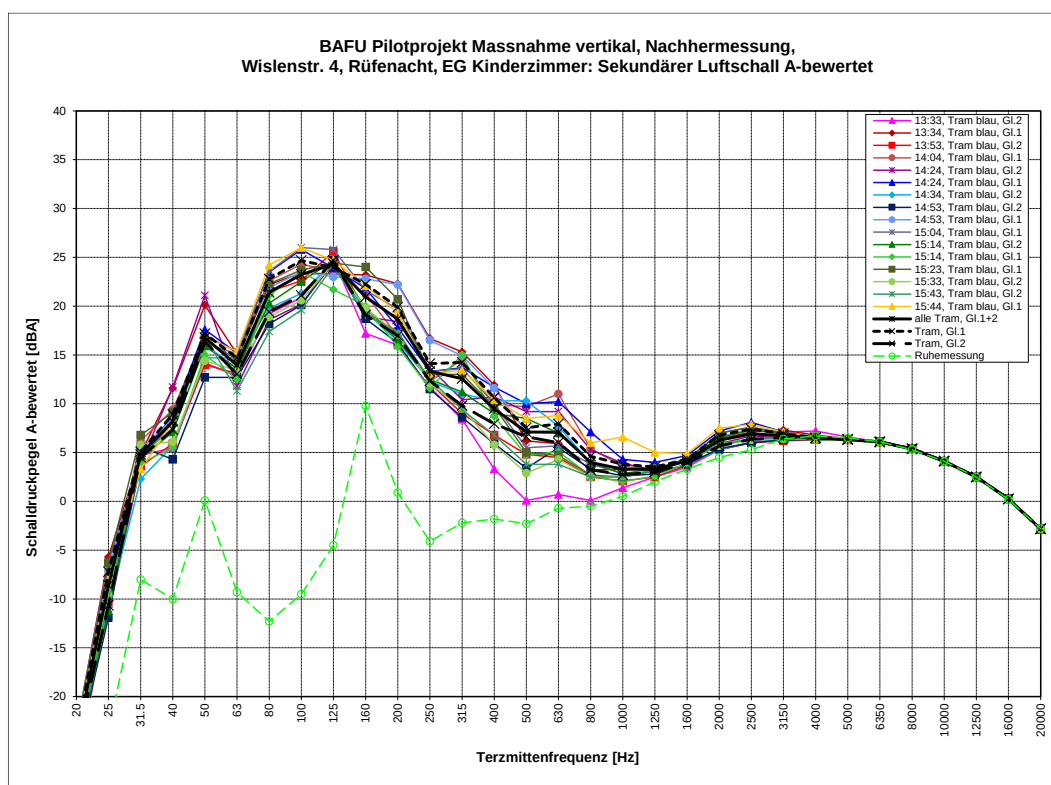


Terzbandspektren A-bewertet der Schallmessung im UG Gästezimmer im Anbau Mik. 2-1

Beilage 9.3: Nachermessung, Terzbandspektren Schallmessung A-bewertet im EG



Terzbandspektren A-bewertet der Schallmessung im EG Schlafzimmer Eltern Mik. 1-2



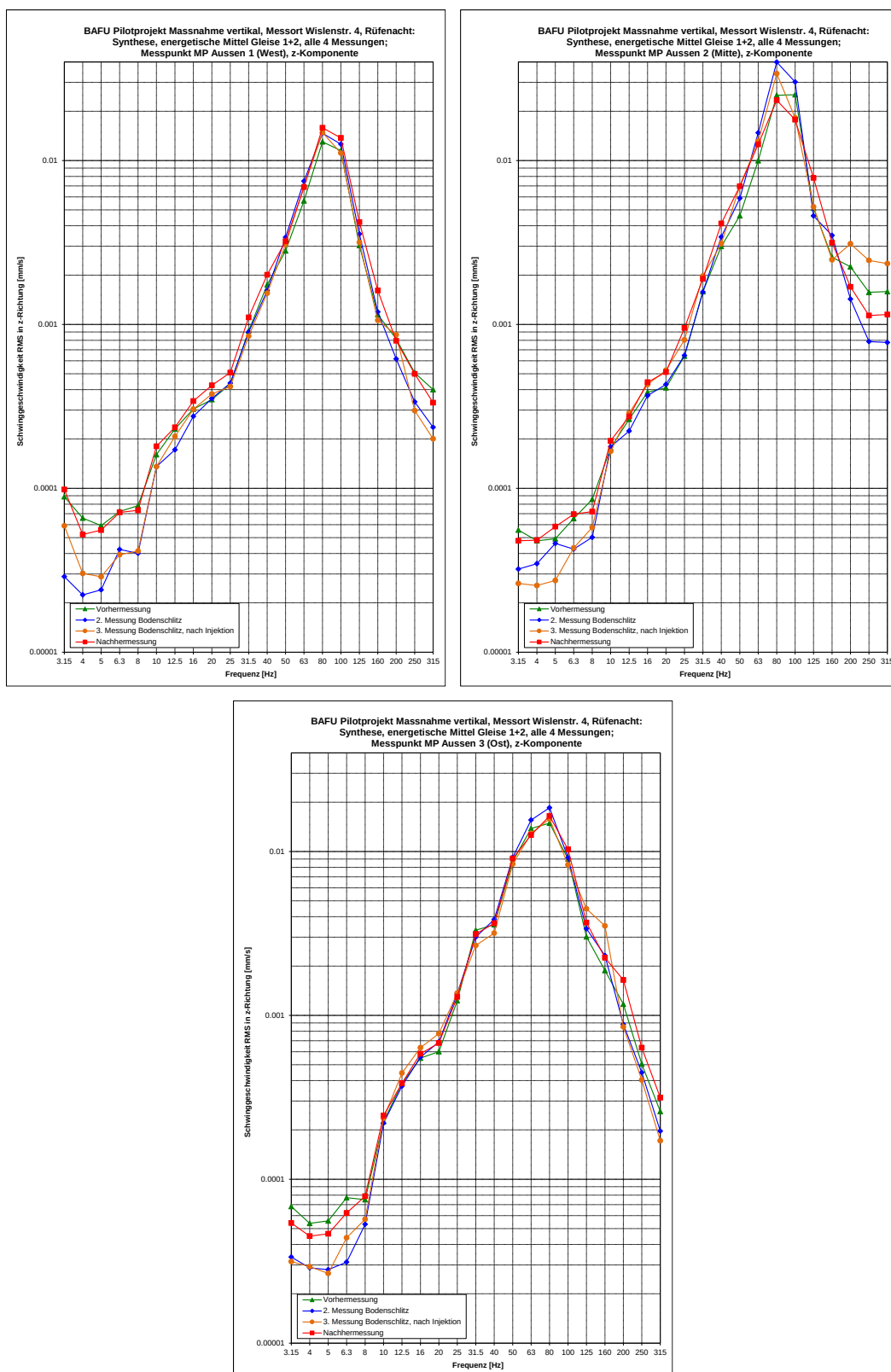
Terzbandspektren A-bewertet der Schallmessung im EG Kinderzimmer Mik. 2-2

Beilage 10:

Zusammenfassung Terzbandspektren Erschütterungen der ganzen Vorbeifahrt aller vier Messungen

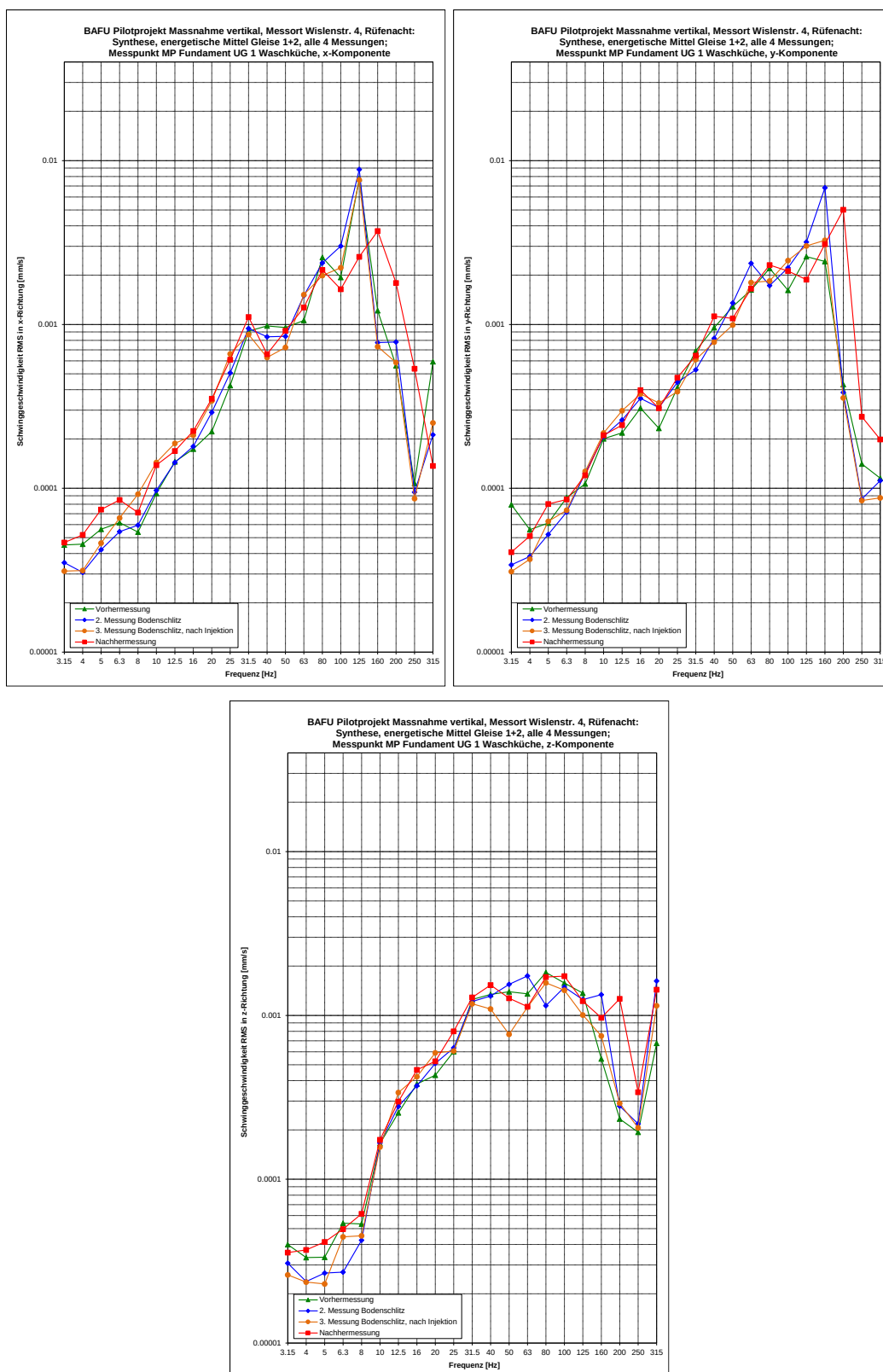
(Total 6 Seiten)

Mittlere Terzbandspektren ganze Vorbeifahrt der vier Messungen



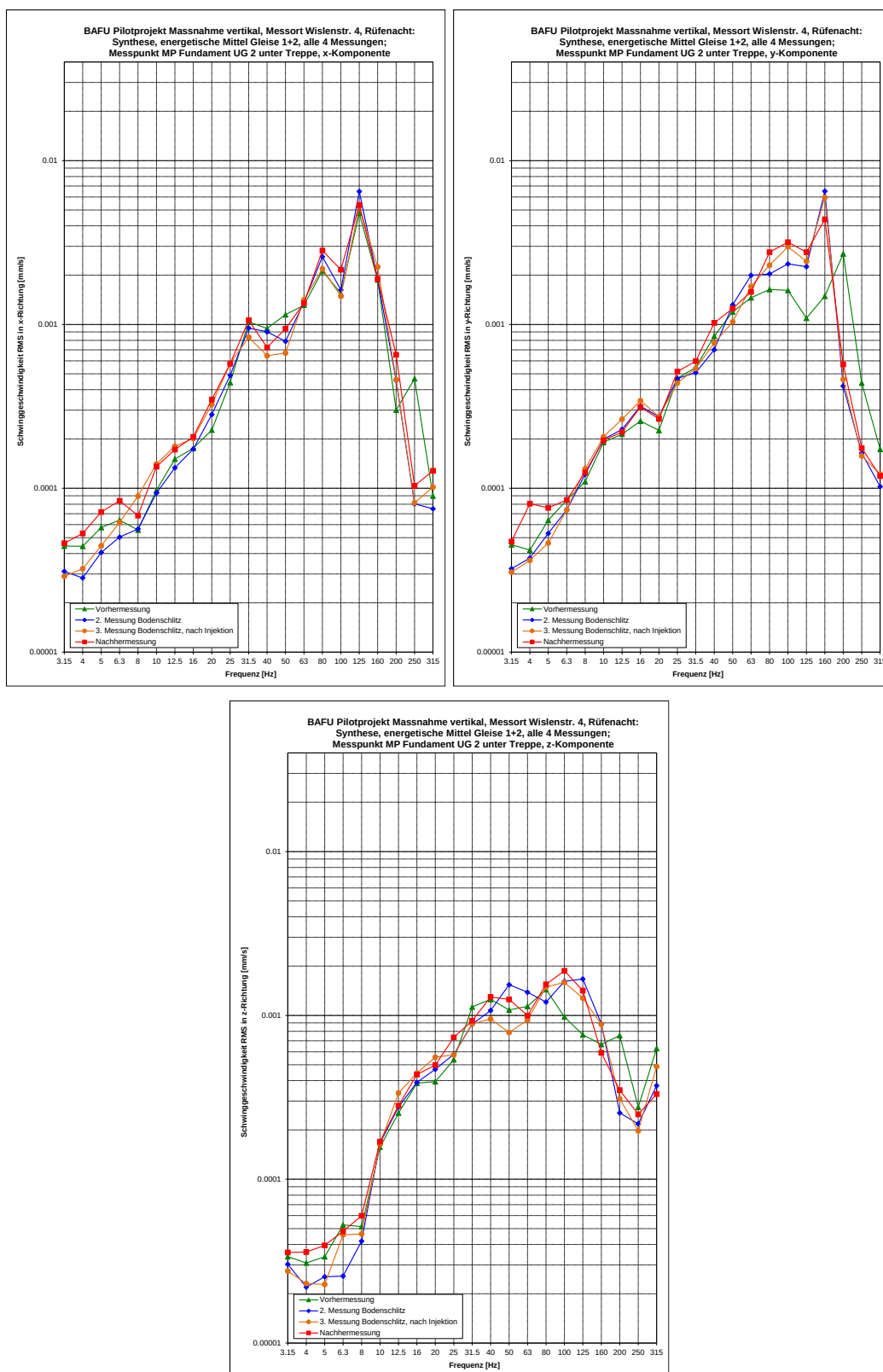
Energetische Mittelungsspektren der vier Messungen
der Messpunkte Aussen 1-3, z-Komponente für Tram auf Gleis 1 und 2

Mittlere Terzbandspektren ganze Vorbeifahrt der vier Messungen



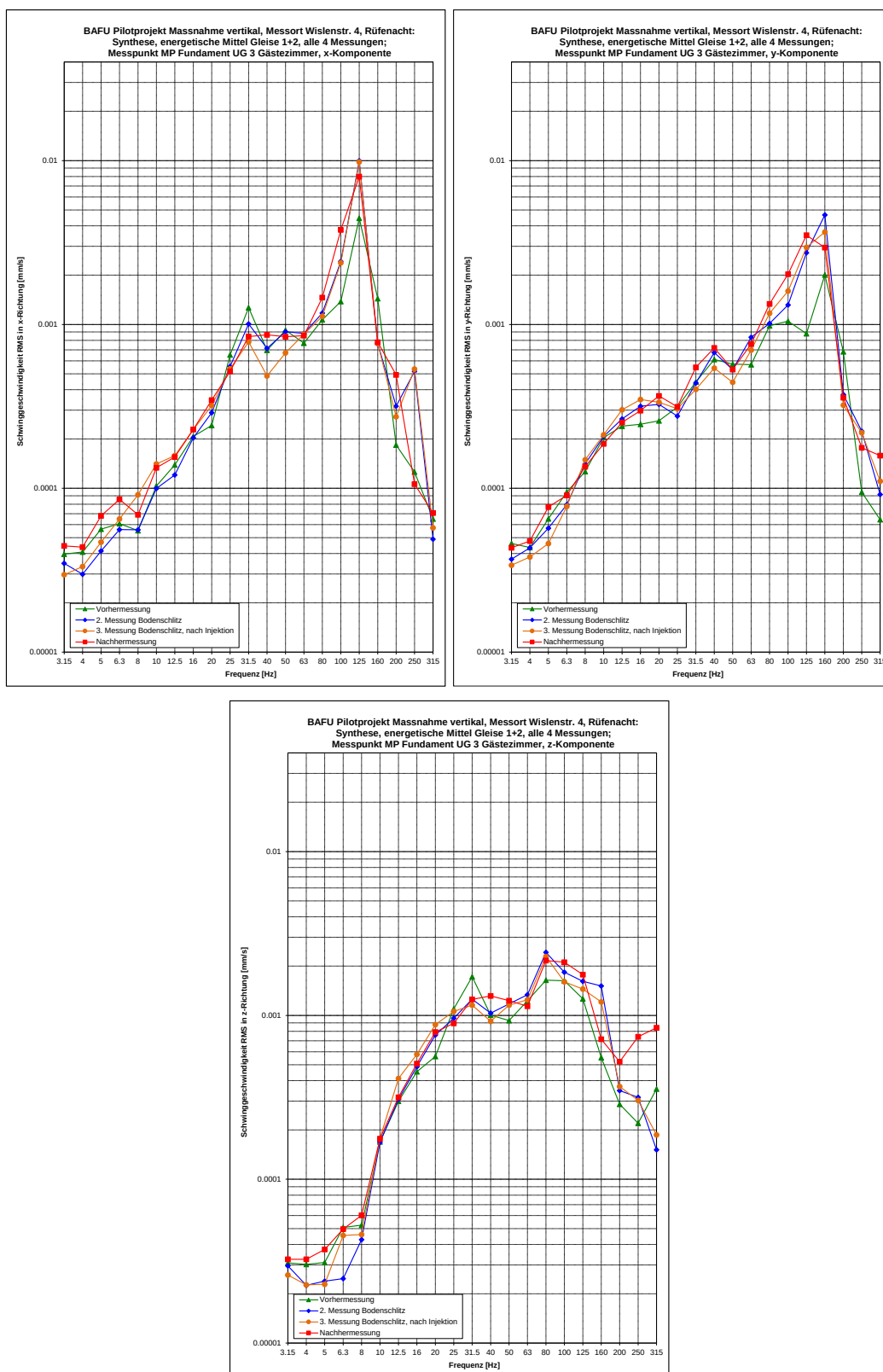
Energetische Mittelungsspektren der vier Messungen des Messpunktes
Fundament UG 1 Waschküche, x-, y-, z-Komponenten für Tram auf Gleis 1 und 2

Mittlere Terzbandspektren ganze Vorbeifahrt der vier Messungen



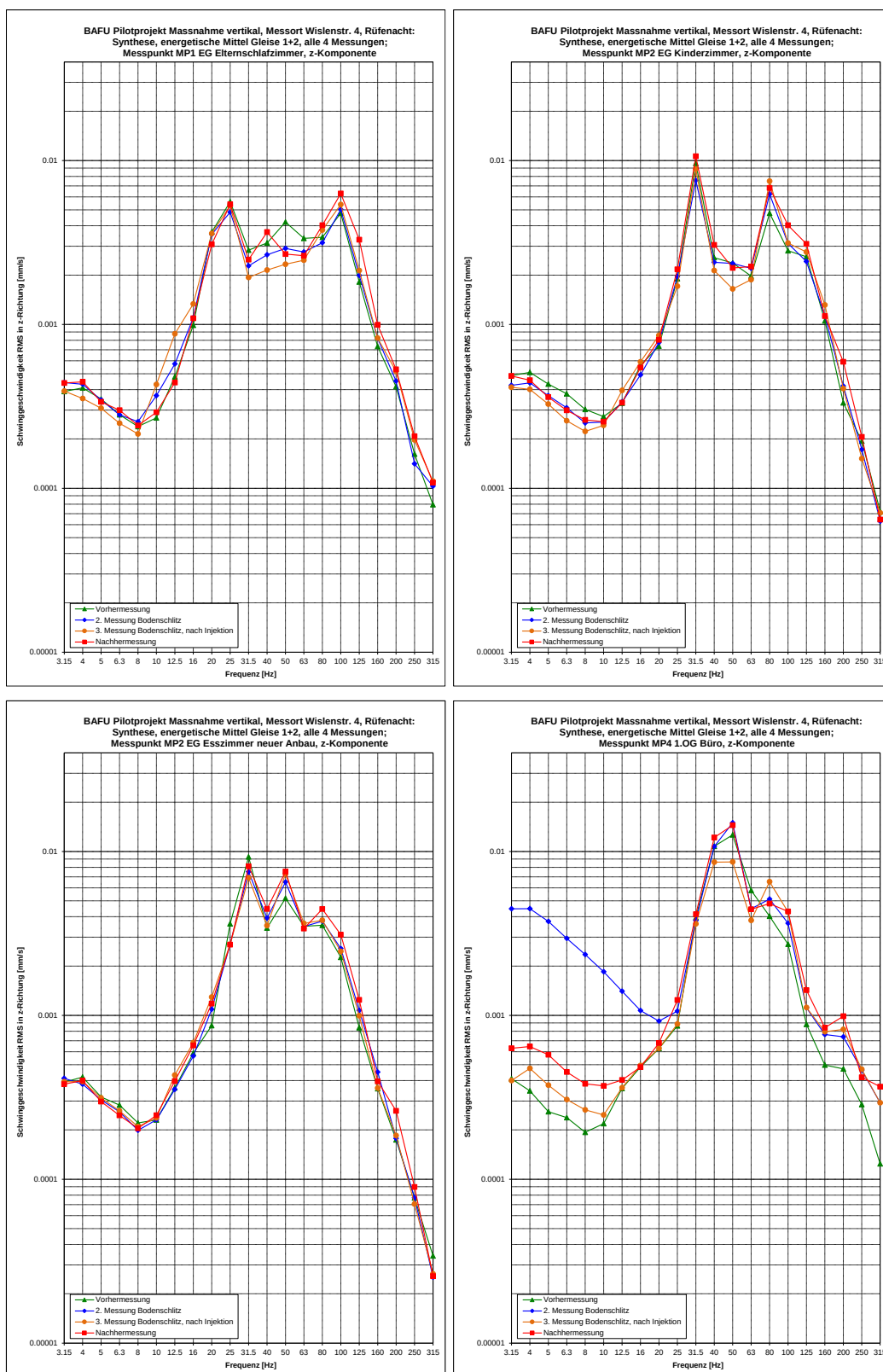
Energetische Mittelungsspektren der vier Messungen des Messpunktes
Fundament UG 2 unter der Treppe, x-, y-, z-Komponenten für Tram auf Gleis 1 und 2

Mittlere Terzbandspektren ganze Vorbeifahrt der vier Messungen



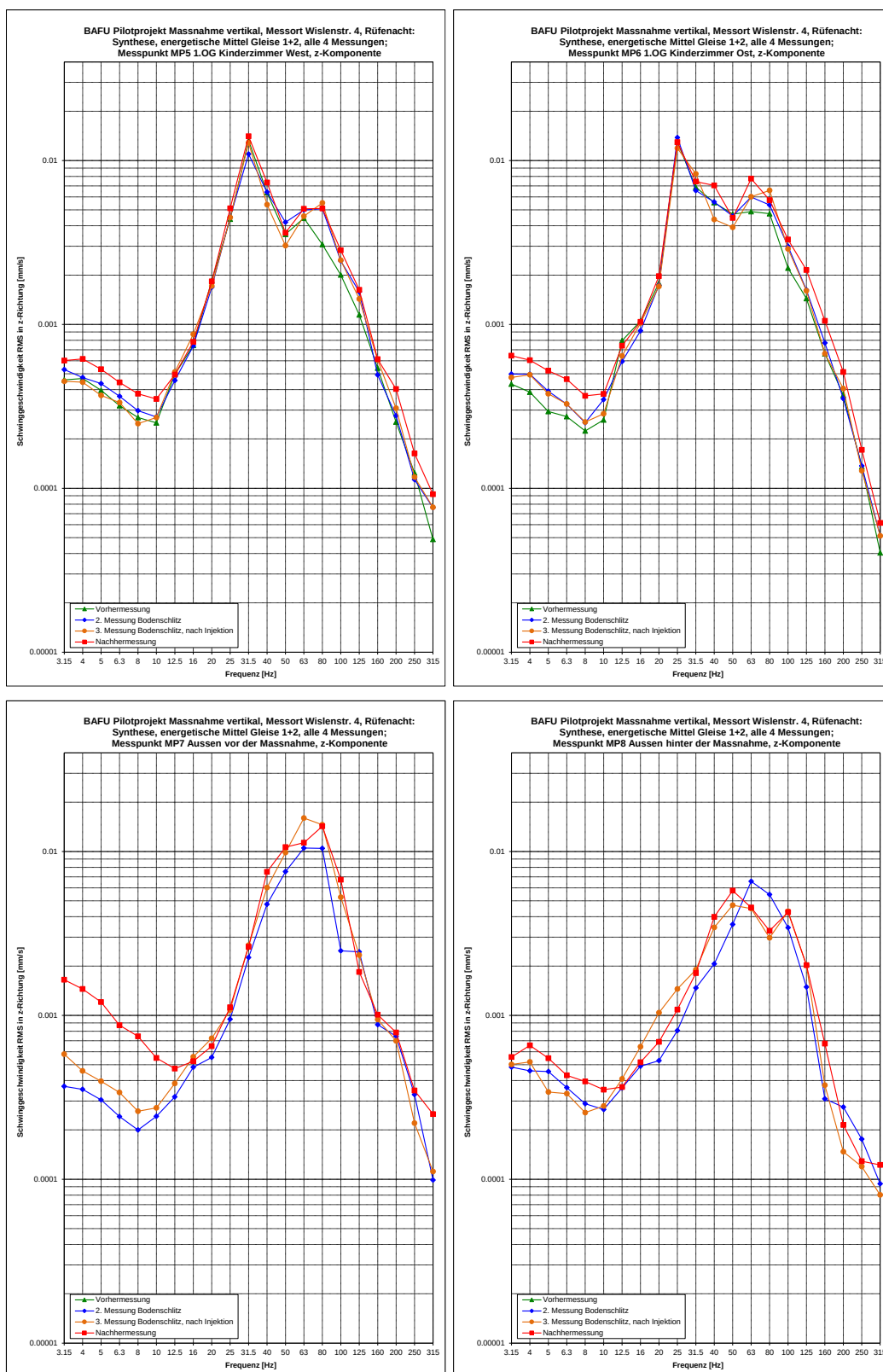
Energetische Mittelungsspektren der vier Messungen des Messpunktes
Fundament UG 3 Gästezimmer, x-, y-, z-Komponenten für Tram auf Gleis 1 und 2

Mittlere Terzbandspektren ganze Vorbeifahrt der vier Messungen



Energetische Mittelungsspektren der vier Messungen der Messpunkte MP1-MP4 in den Zimmern EG und OG, z-Komponente für Tram auf Gleis 1 und 2

Mittlere Terzbandspektren ganze Vorbeifahrt der vier Messungen



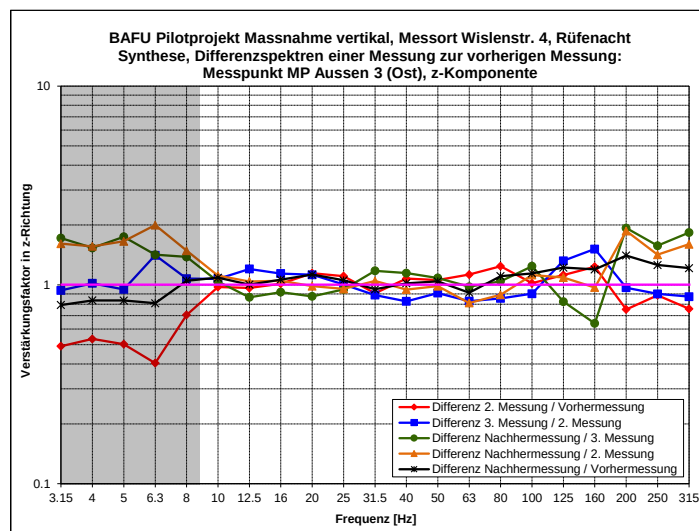
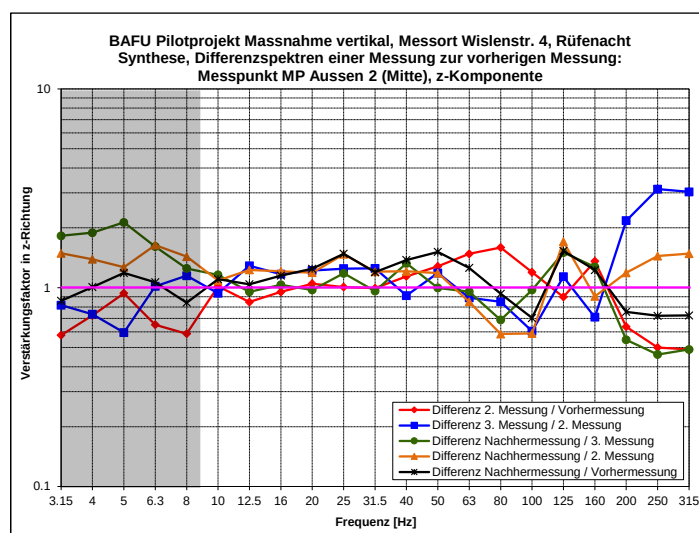
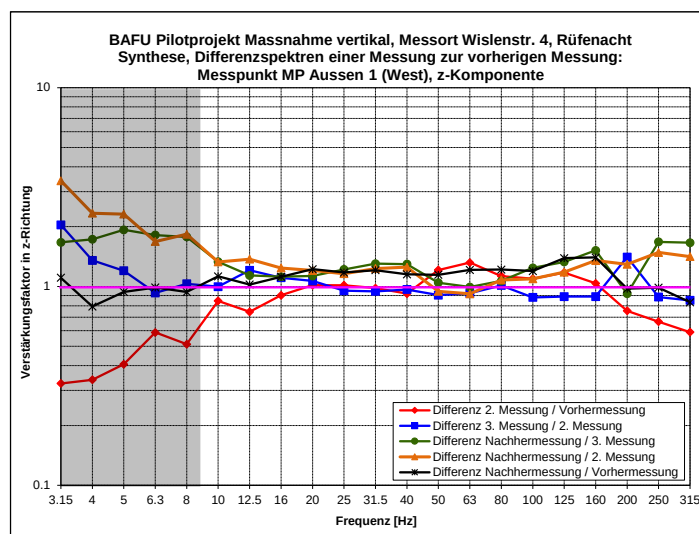
Energetische Mittelungsspektren der vier Messungen der Messpunkte MP5-MP6 in den Zimmern OG und MP7-MP8 vor und hinter der Massnahme (nur Nachhermessung), z-Komponente für Tram auf Gleis 1 und 2

Beilage 11:

Differenzen Terzbandspektren Erschütterungen der vier Messungen pro Messpunkt

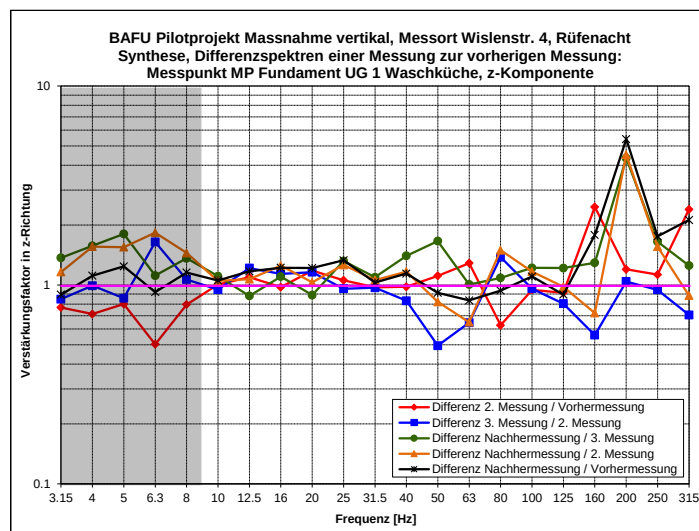
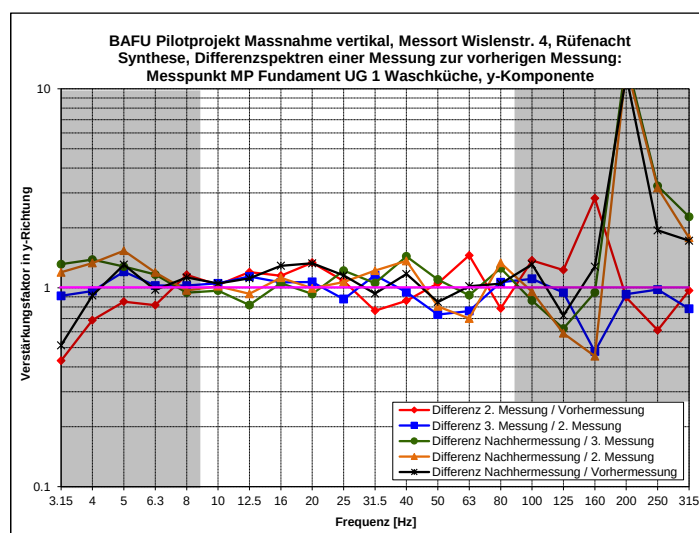
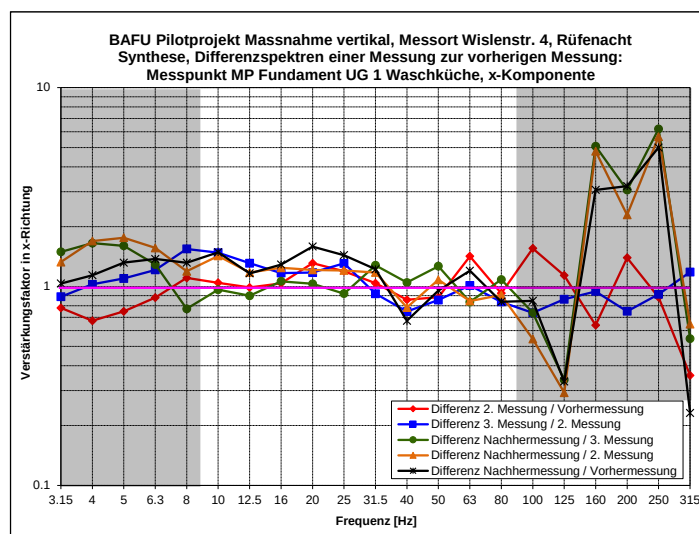
(Total 7 Seiten)

Mittlere Differenzspektren der vier Messungen pro Messpunkt



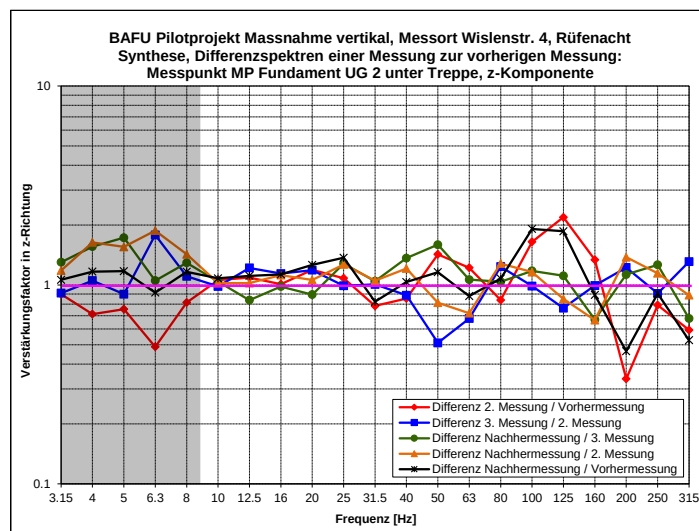
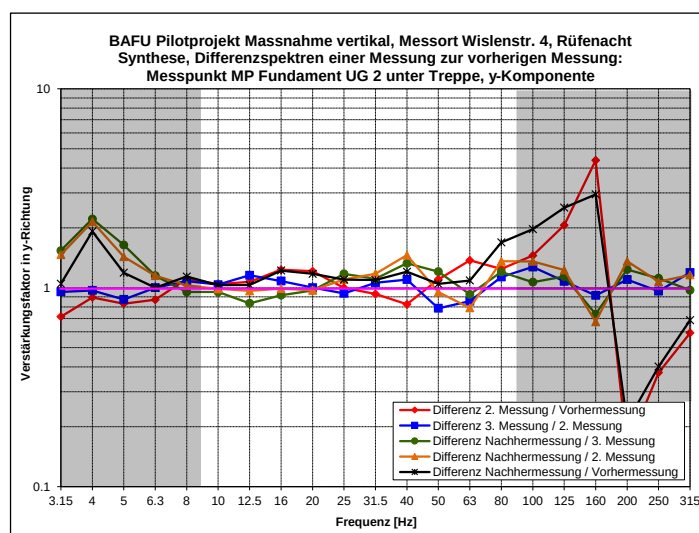
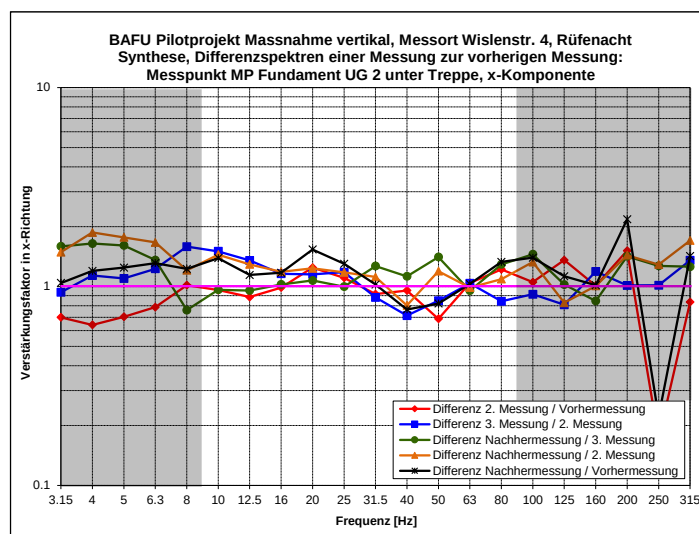
Geom. Mittel der Differenzspektren der vier Messungen, z-Komponente
Messpunkte Aussen 1-3 für Tram auf Gleis 1 und 2

Mittlere Differenzspektren der vier Messungen pro Messpunkt



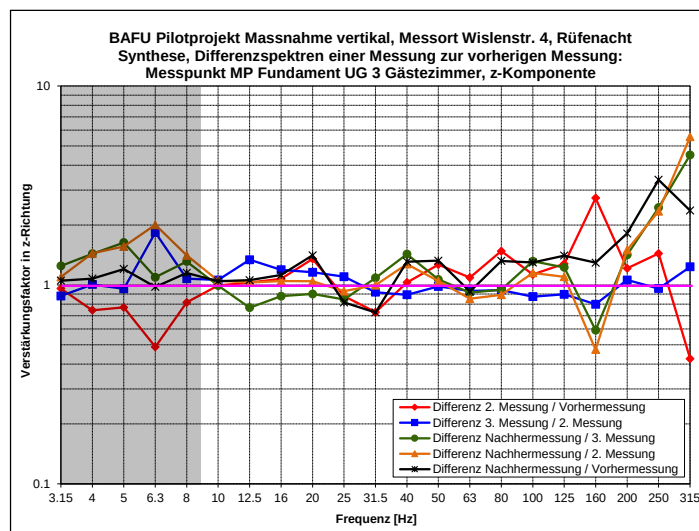
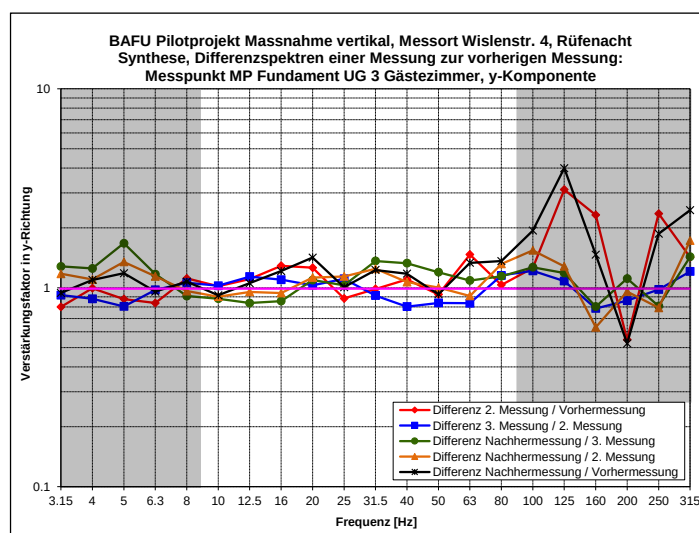
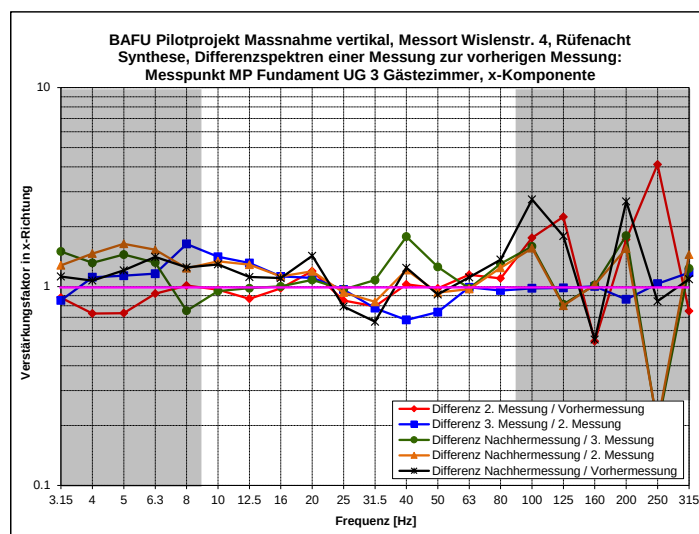
Geom. Mittel der Differenzspektren der vier Messungen, x-, y-, z-Komponenten
Messpunkt Fundament UG 1 Waschküche für Tram auf Gleis 1 und 2

Mittlere Differenzspektren der vier Messungen pro Messpunkt



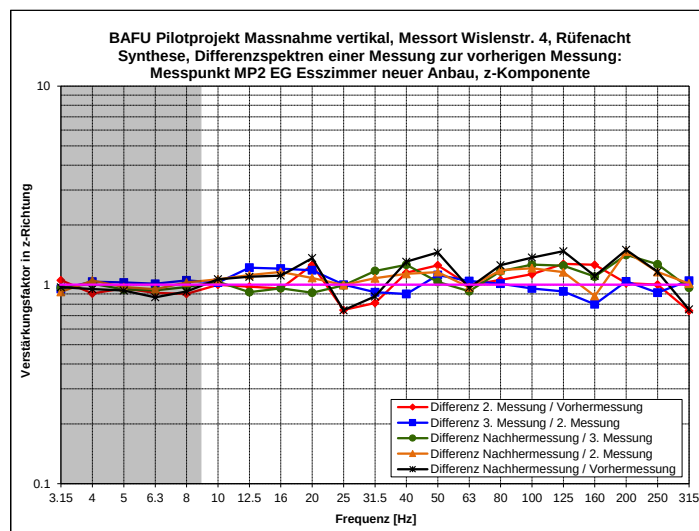
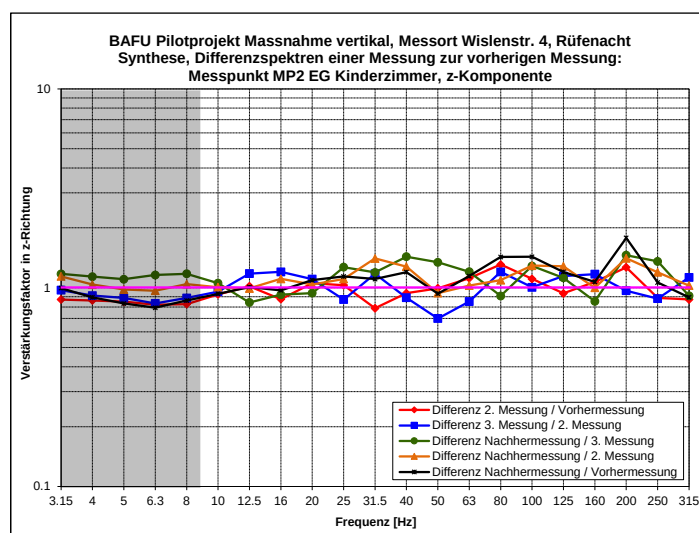
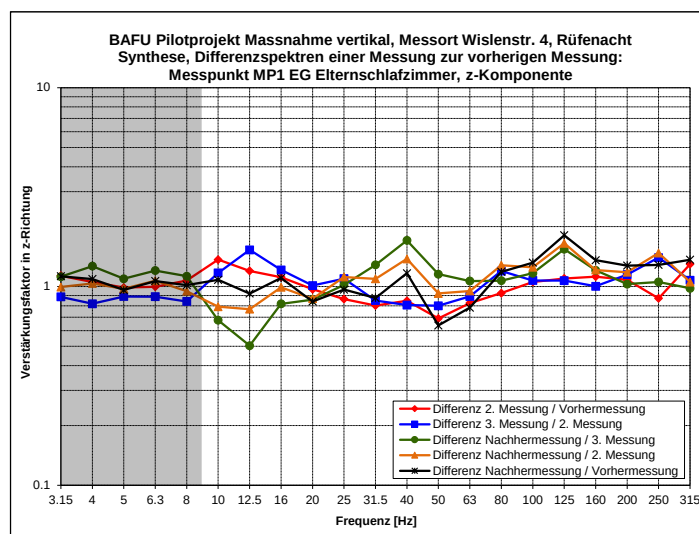
Geom. Mittel der Differenzspektren der vier Messungen, x-, y-, z-Komponenten
Messpunkt Fundament UG 2 unter der Treppe für Tram auf Gleis 1 und 2

Mittlere Differenzspektren der vier Messungen pro Messpunkt



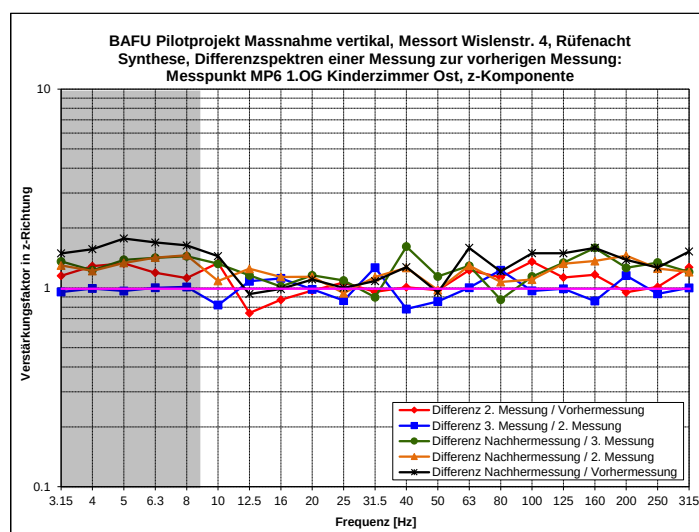
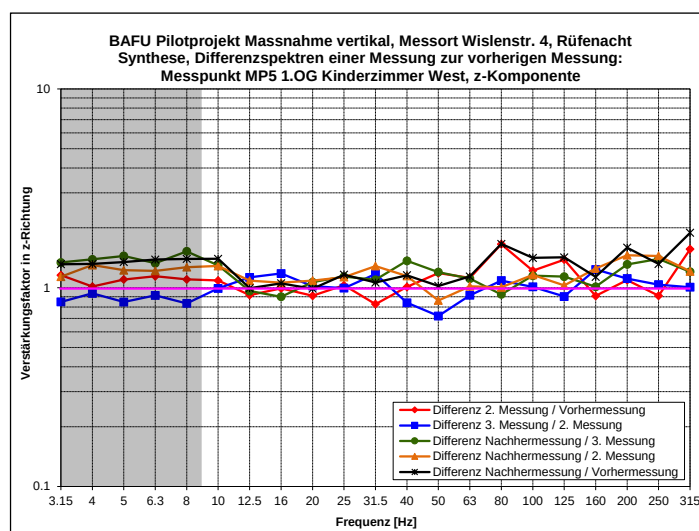
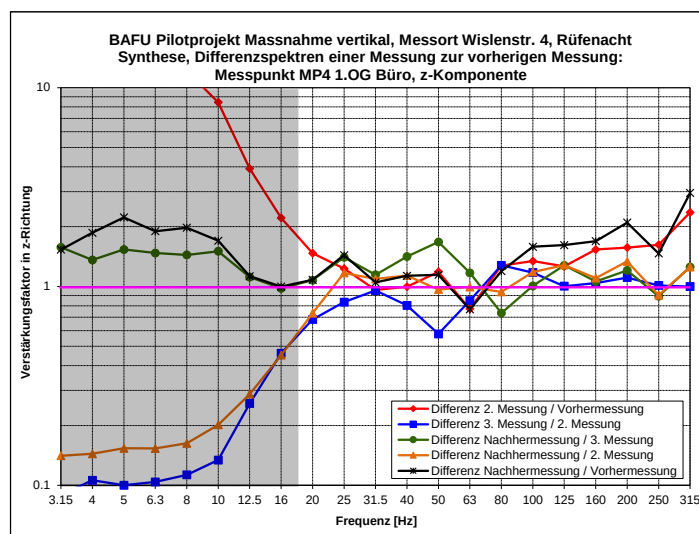
Geom. Mittel der Differenzspektren der vier Messungen, x-, y-, z-Komponenten
Messpunkt Fundament UG 3 Gästezimmer für Tram auf Gleis 1 und 2

Mittlere Differenzspektren der vier Messungen pro Messpunkt



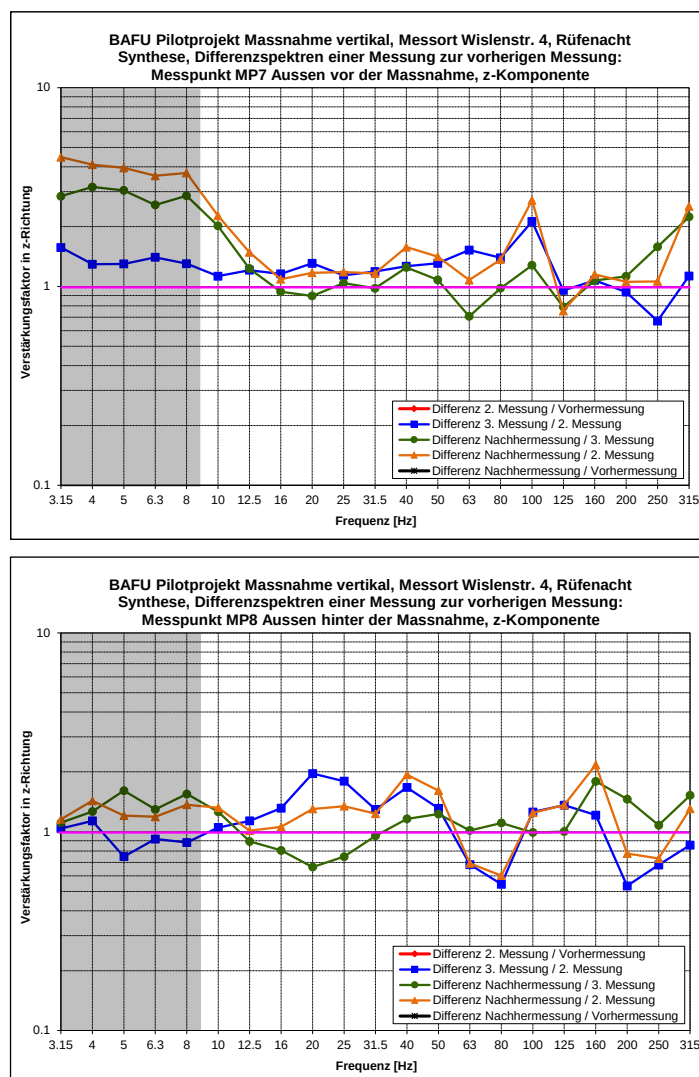
Geom. Mittel der Differenzspektren der vier Messungen, z-Komponente
Messpunkte Gebäude EG 1-3 für Tram auf Gleis 1 und 2, graue Bereiche nur Grundrauschen

Mittlere Differenzspektren der vier Messungen pro Messpunkt



Geom. Mittel der Differenzspektren der vier Messungen, z-Komponente
Messpunkte Gebäude OG 4-6 für Tram auf Gleis 1 und 2, graue Bereiche nur Grundrauschen

Mittlere Differenzspektren der vier Messungen pro Messpunkt



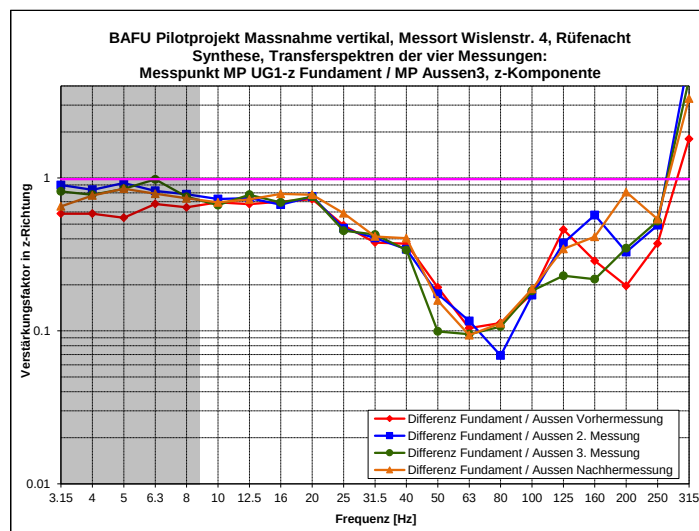
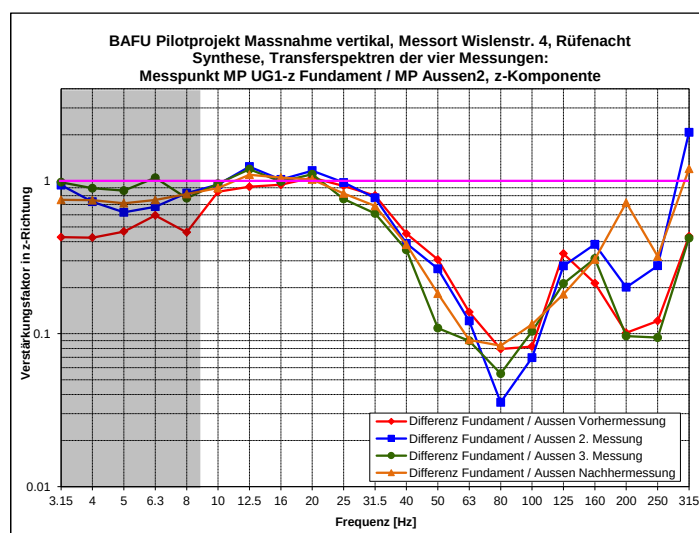
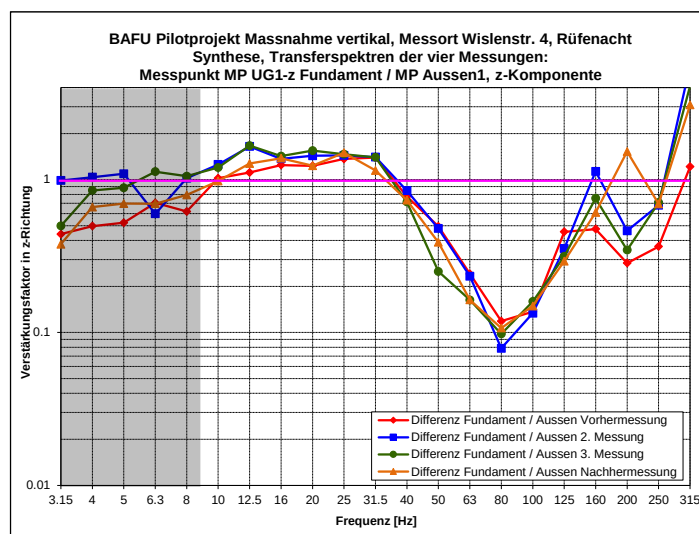
Geom. Mittel der Differenzspektren der vier Messungen, z-Komponente
Messpunkte Aussen 7-8 vor und hinter der Massnahme für Tram auf Gleis 1 und 2,
graue Bereiche nur Grundrauschen

Beilage 12:

Differenzen Terzbandspektren Erschütterungen zwischen Fundament- und Aussenmesspunkten

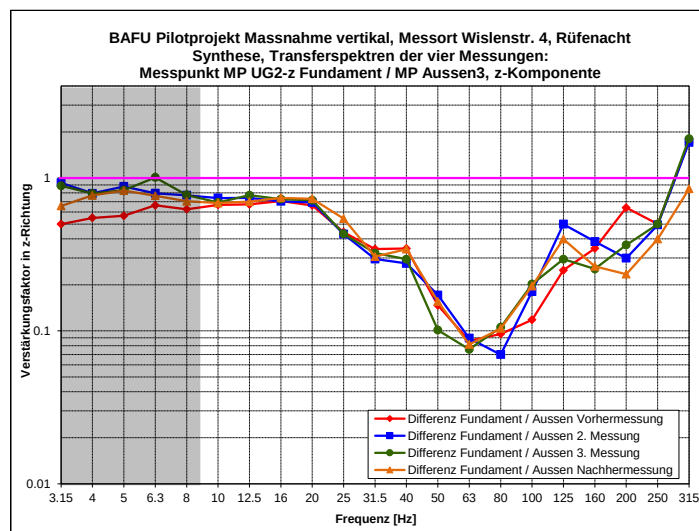
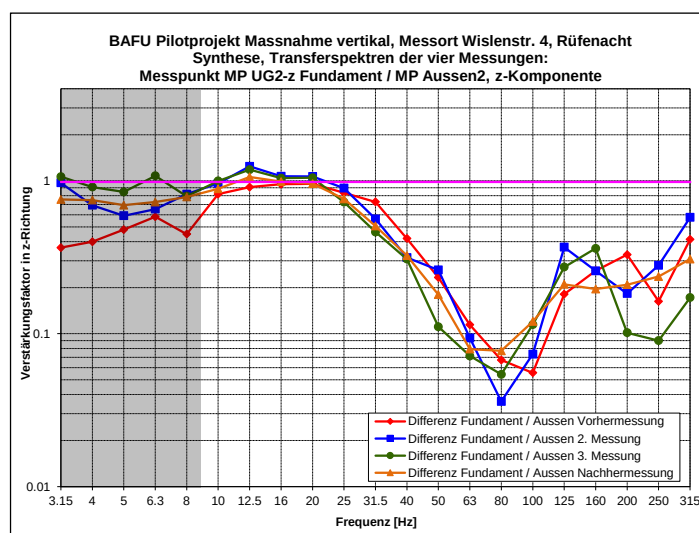
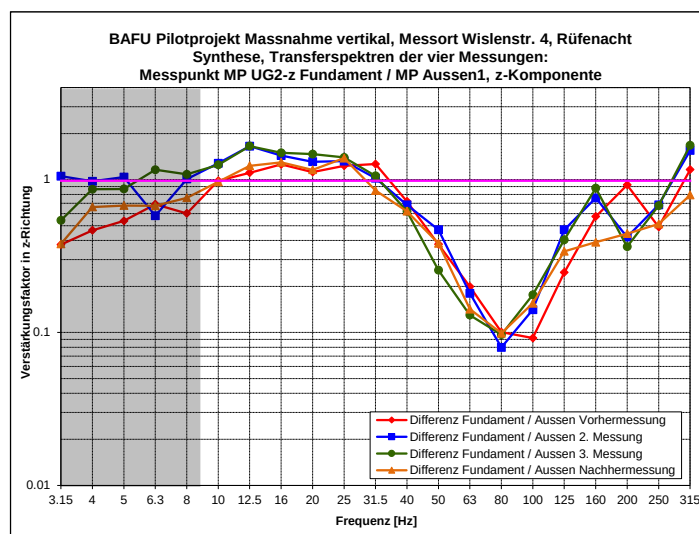
(Total 3 Seiten)

Mittlere Transferspektren Fundament- zu Aussenmesspunkten



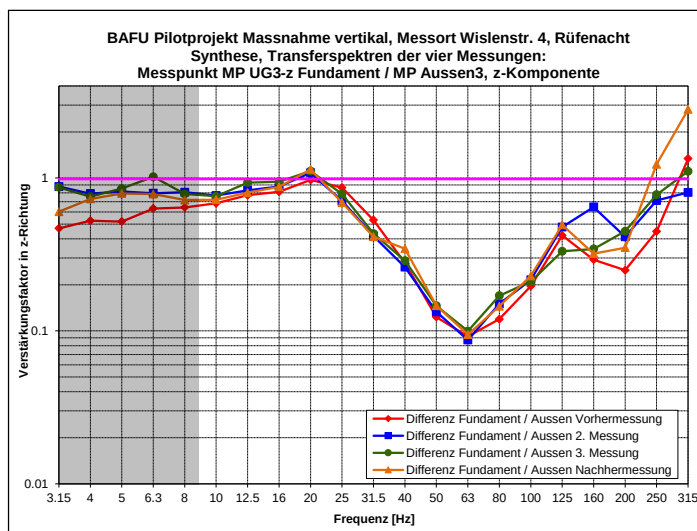
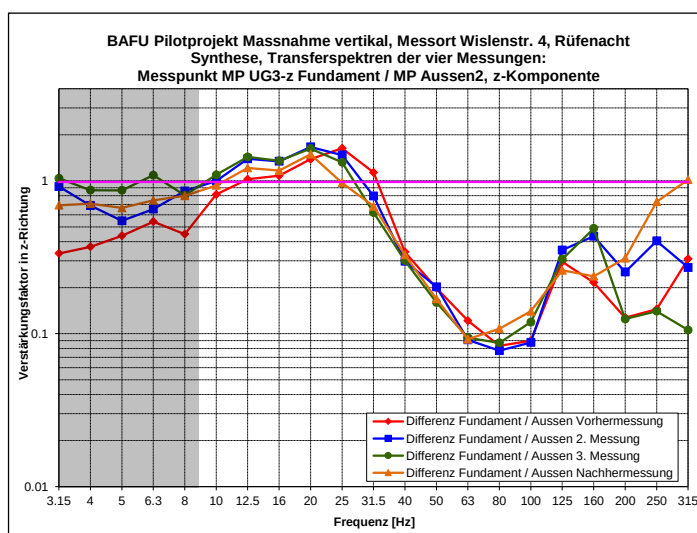
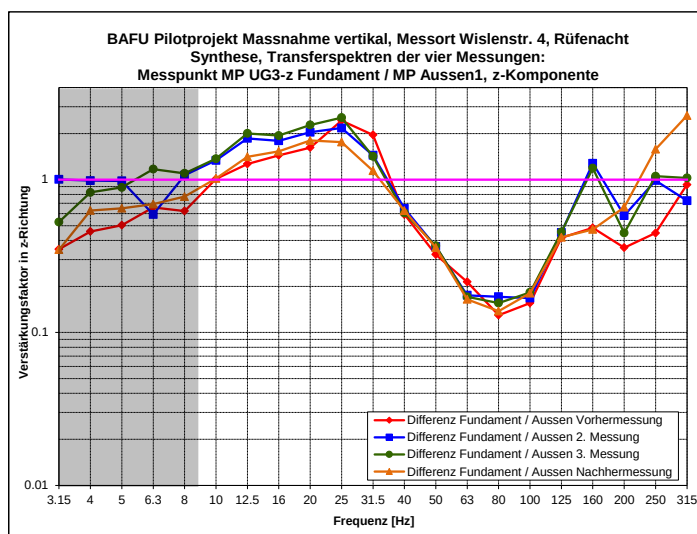
Geom. Mittel der Differenzspektren der vier Messungen, z-Komponente
Messpunkt Fundament UG 1 zu Aussen 1-3 für Tram auf Gleis 1 und 2,
graue Bereiche nur Grundrauschen

Mittlere Differenzspektren Fundament- zu Aussenmesspunkten



Geom. Mittel der Differenzspektren der vier Messungen, z-Komponente
Messpunkt Fundament UG 2 zu Aussen 1-3 für Tram auf Gleis 1 und 2,
graue Bereiche nur Grundrauschen

Mittlere Differenzspektren Fundament- zu Aussenmesspunkten



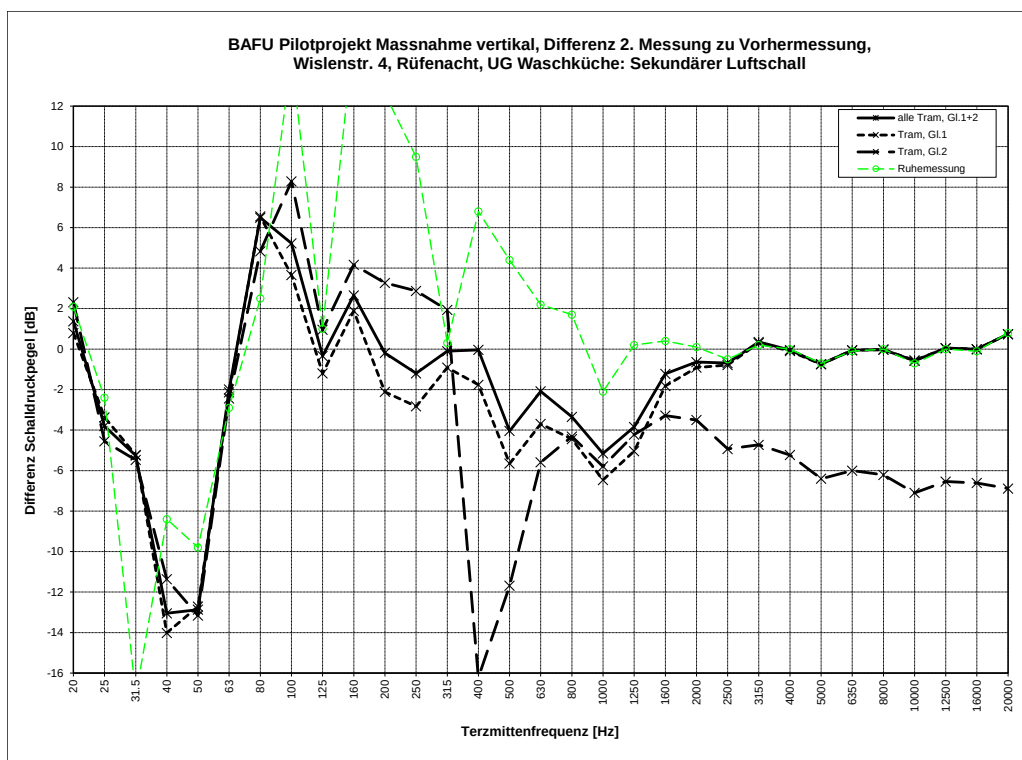
Geom. Mittel der Differenzspektren der vier Messungen, z-Komponente
Messpunkt Fundament UG 3 zu Aussen 1-3 für Tram auf Gleis 1 und 2,
graue Bereiche nur Grundrauschen

Beilage 13:

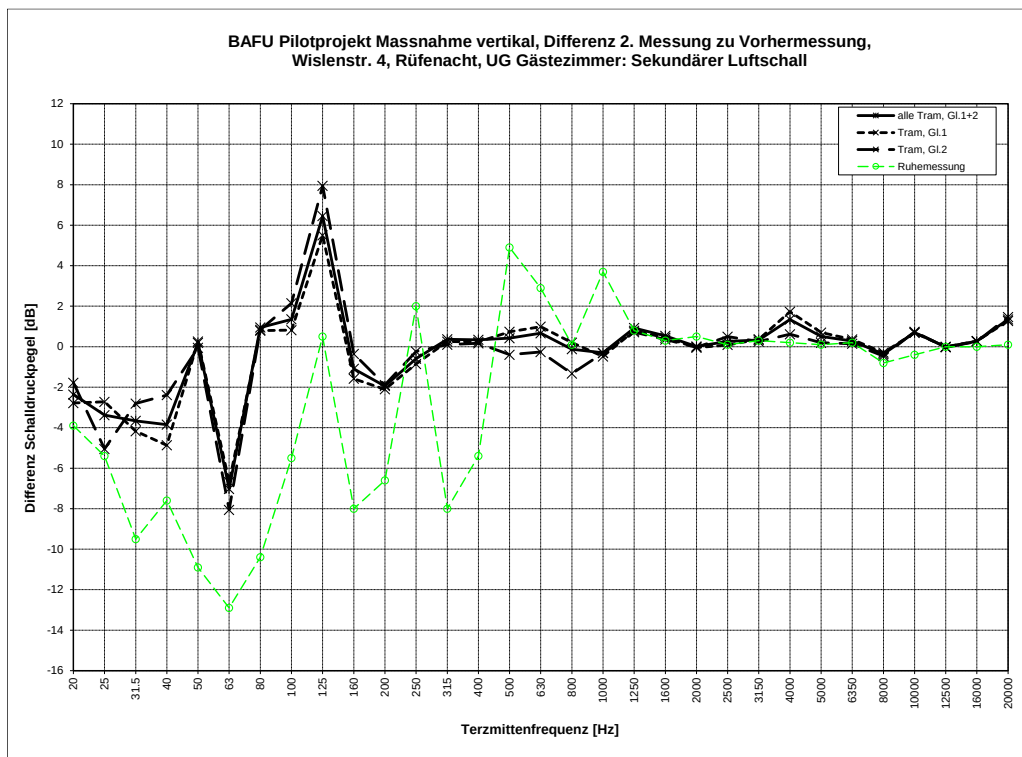
Differenzen Terzbandspektren Schallmessungen Zwischenmessungen und Nachher- zu Vorhermessung

(Total 6 Seiten)

Mittlere Differenzspektren 2. Messung zu Vorhermessung im UG

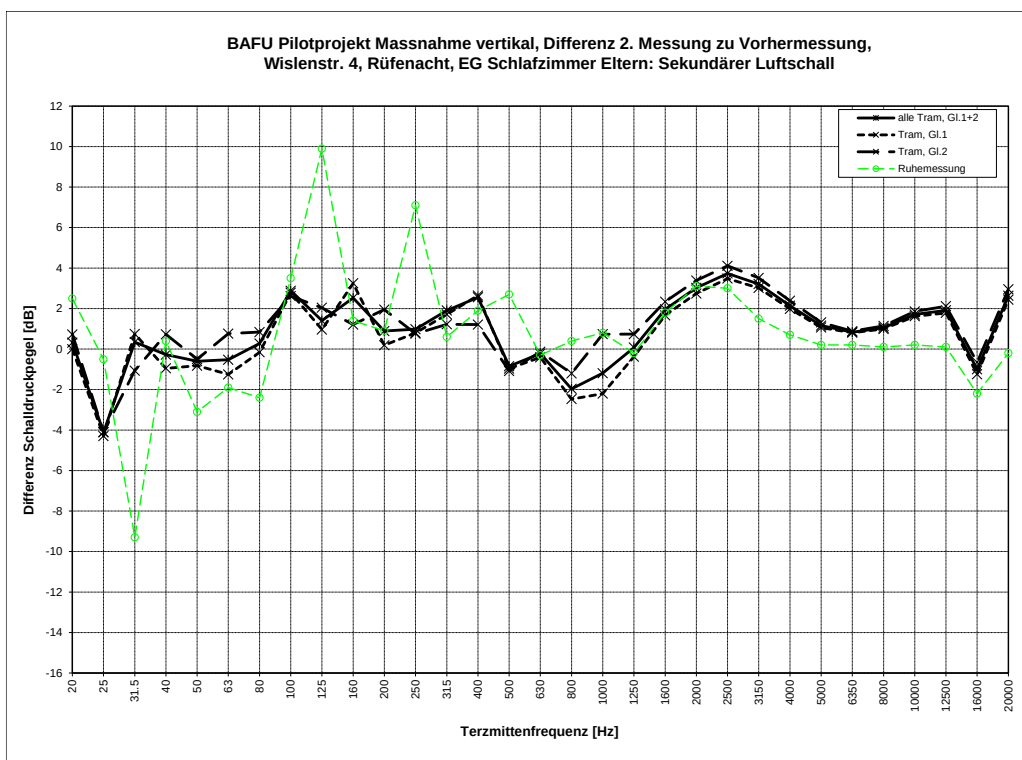


Differenzspektren 2. Messung zu Vorhermessung der gemittelten Spektren der Tramfahrten und der Ruhemessung der Schallmessung im UG Waschküche Mik. 1-1

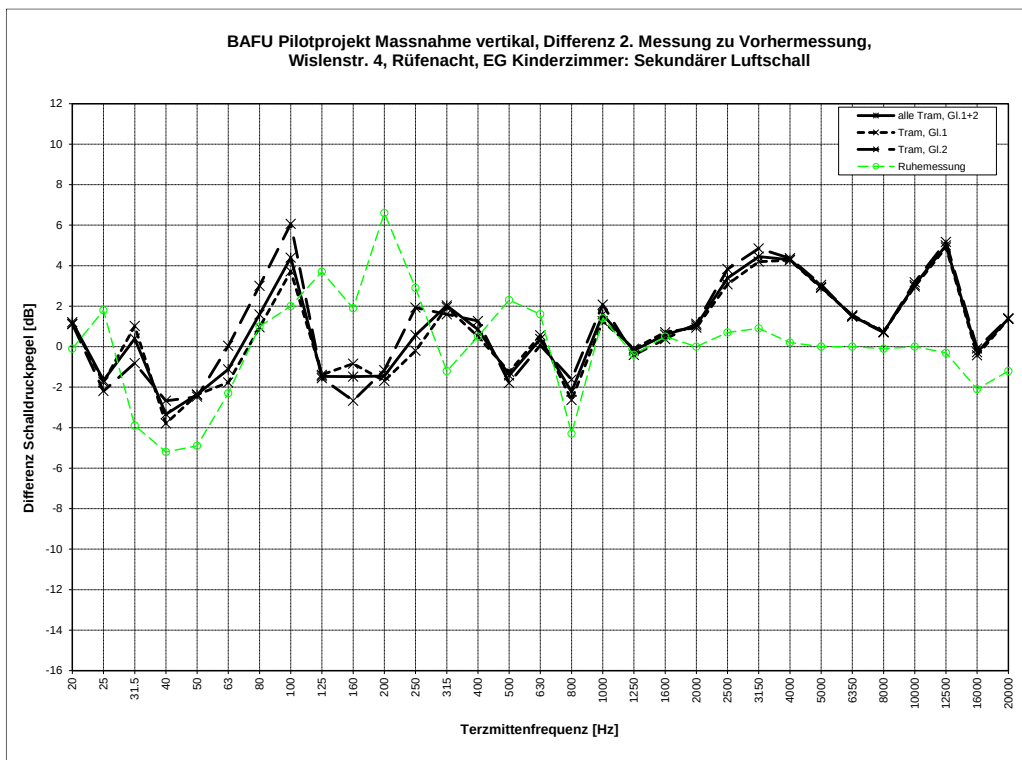


Differenzspektren 2. Messung zu Vorhermessung der gemittelten Spektren der Tramfahrten und der Ruhemessung der Schallmessung im UG Gästezimmer Mik. 2-1

Mittlere Differenzspektren 2. Messung zu Vorhermessung im EG

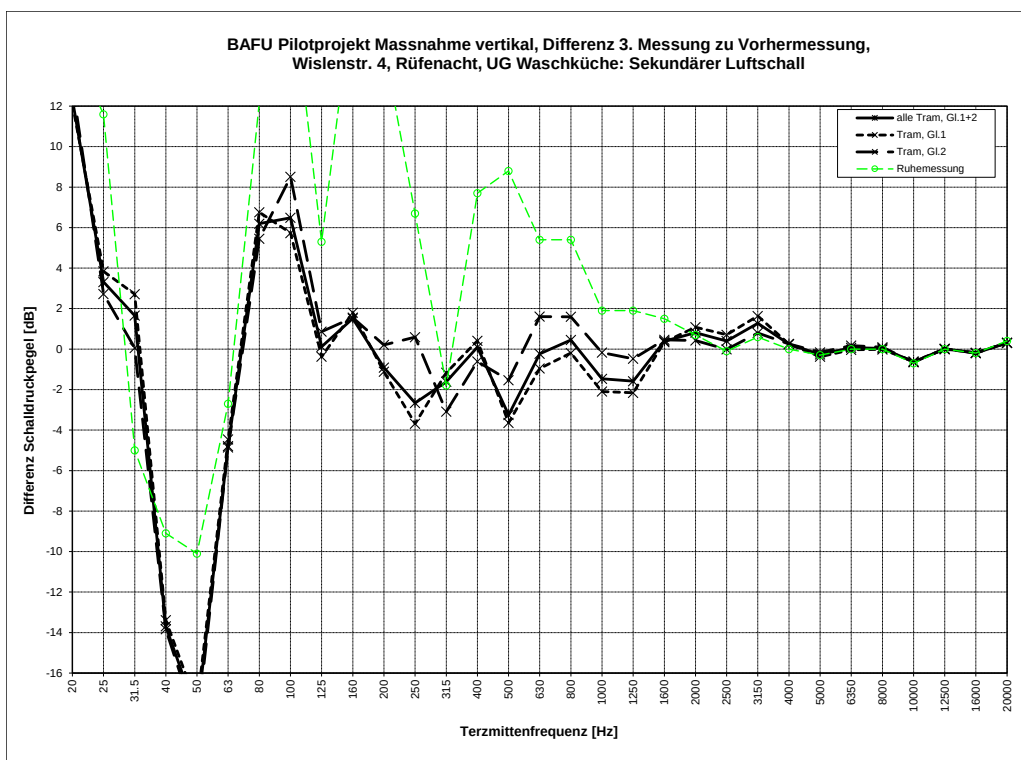


Differenzspektren 2. Messung zu Vorhermessung der gemittelten Spektren der Tramfahrten und der Ruhemessung der Schallmessung im EG Schlafzimmer Mik. 1-2

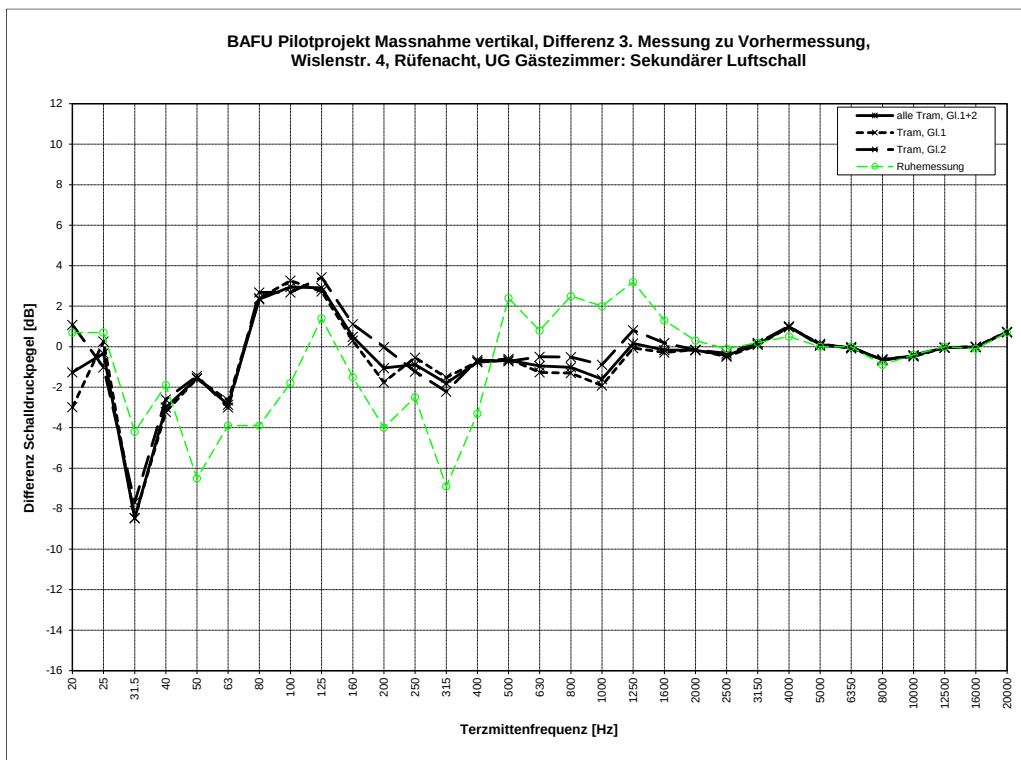


Differenzspektren 2. Messung zu Vorhermessung der gemittelten Spektren der Tramfahrten und der Ruhemessung der Schallmessung im EG Kinderzimmer Mik. 2-2

Mittlere Differenzspektren 3. Messung zu Vorhermessung im UG

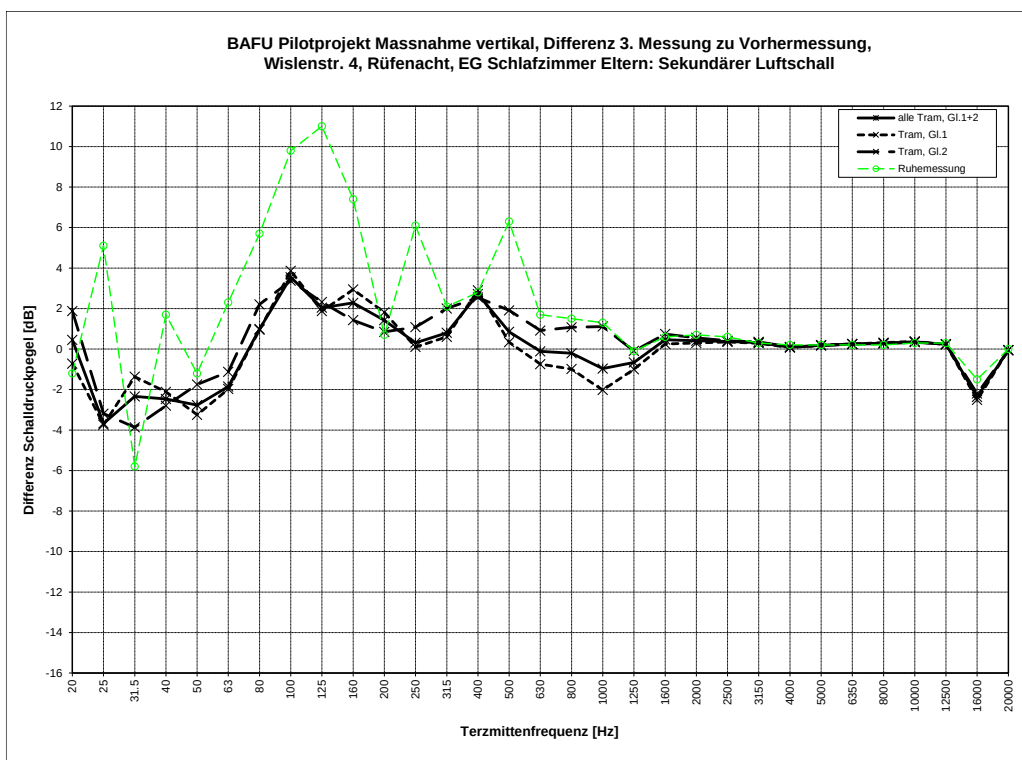


Differenzspektren 3. Messung zu Vorhermessung der gemittelten Spektren der Tramfahrten und der Ruhemessung der Schallmessung im UG Waschküche Mik. 1-1

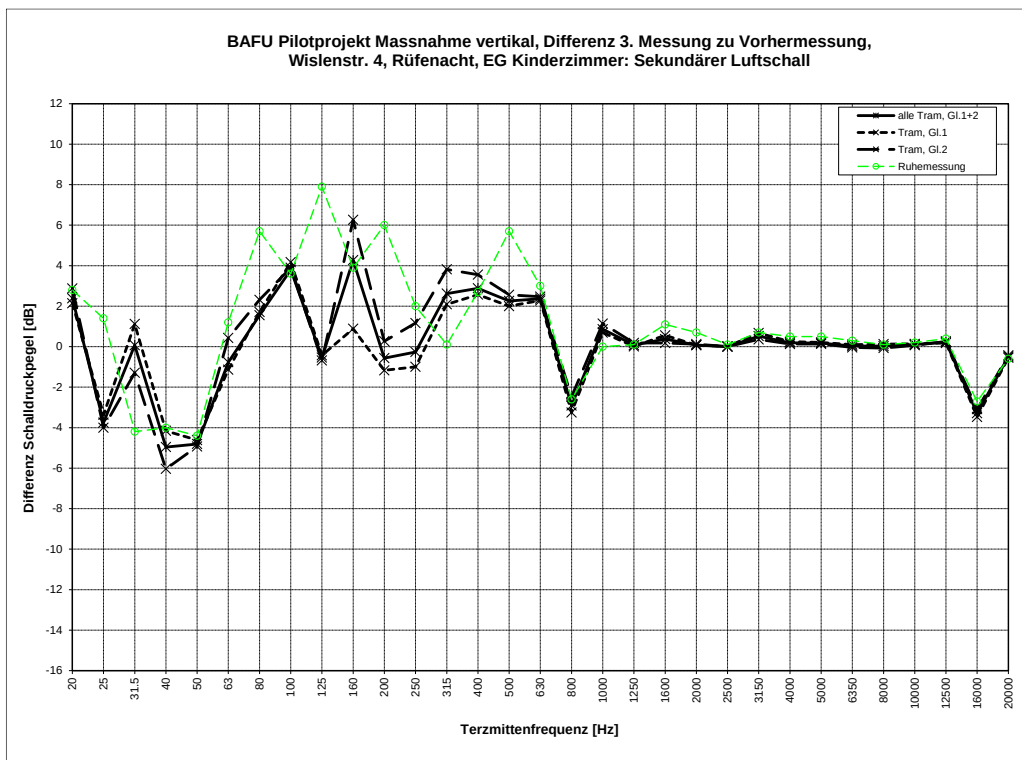


Differenzspektren 3. Messung zu Vorhermessung der gemittelten Spektren der Tramfahrten und der Ruhemessung der Schallmessung im UG Gästezimmer Mik. 2-1

Mittlere Differenzspektren 3. Messung zu Vorhermessung im EG

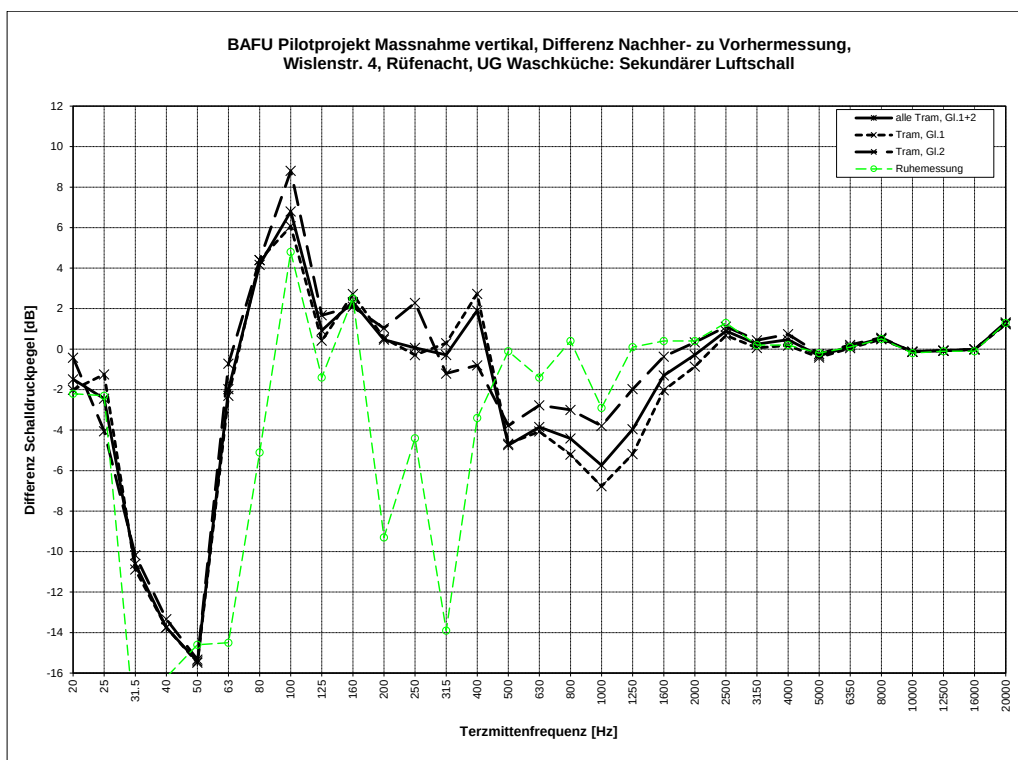


Differenzspektren 3. Messung zu Vorhermessung der gemittelten Spektren der Tramfahrten und der Ruhemessung der Schallmessung im EG Schlafzimmer Mik. 1-2

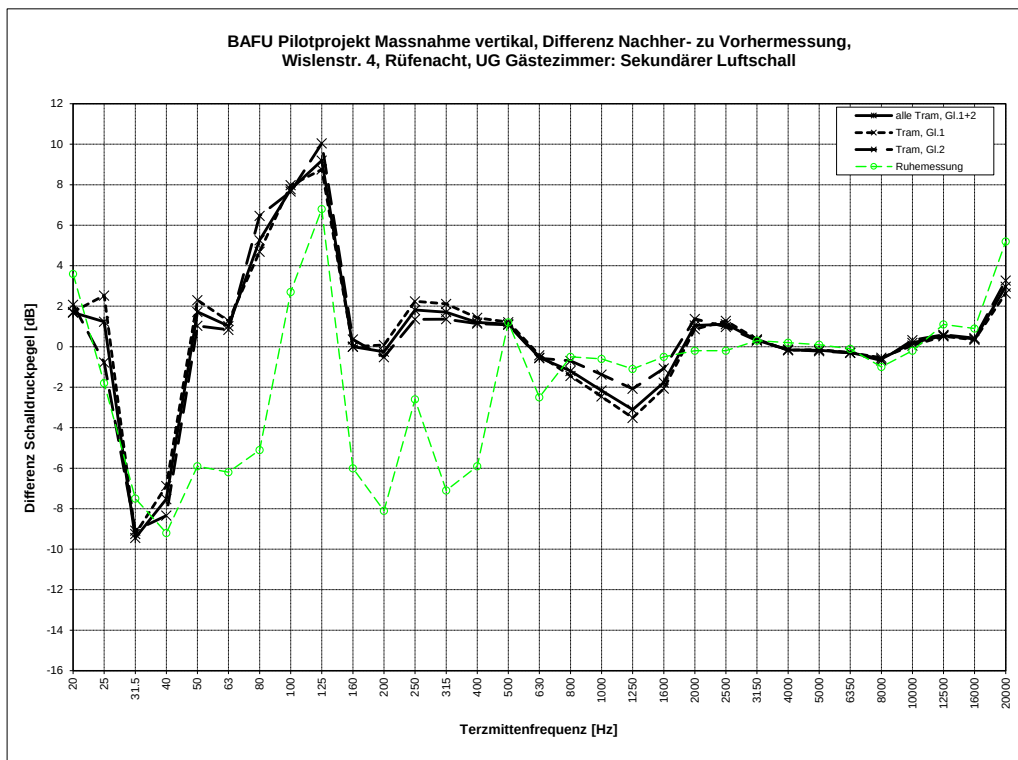


Differenzspektren 3. Messung zu Vorhermessung der gemittelten Spektren der Tramfahrten und der Ruhemessung der Schallmessung im EG Kinderzimmer Mik. 2-2

Mittlere Differenzspektren Nachher- zu Vorhermessung im UG

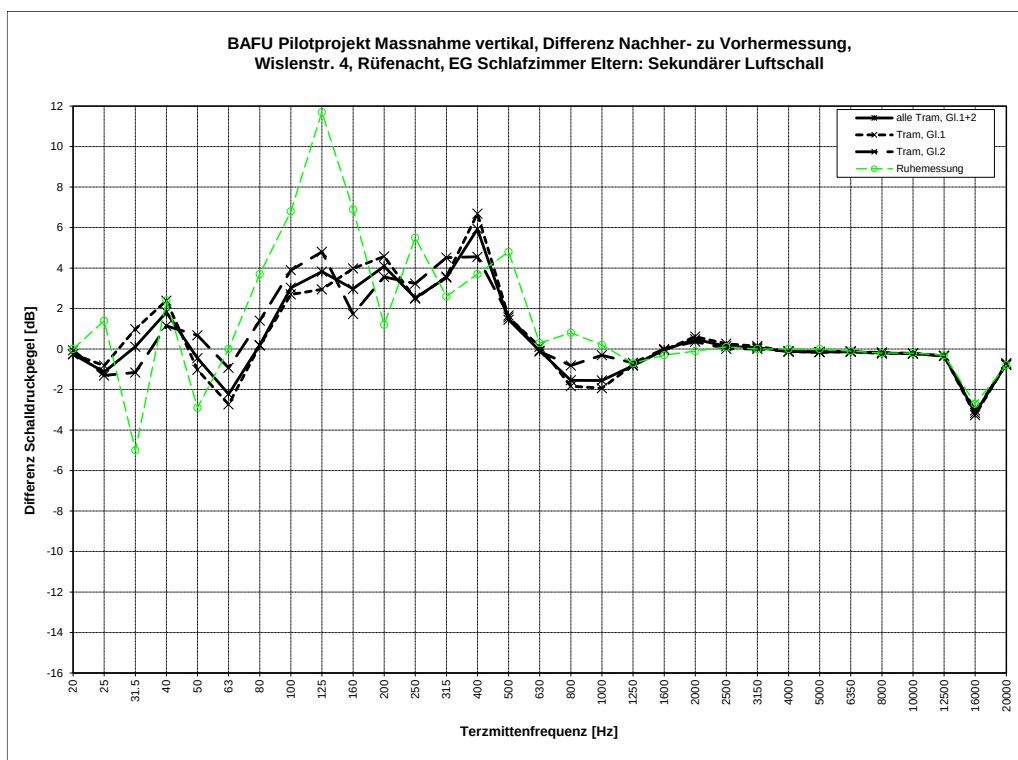


Differenzspektren Nachher- zu Vorhermessung der gemittelten Spektren der Tramfahrten und der Ruhemessung der Schallmessung im UG Waschküche Mik. 1-1

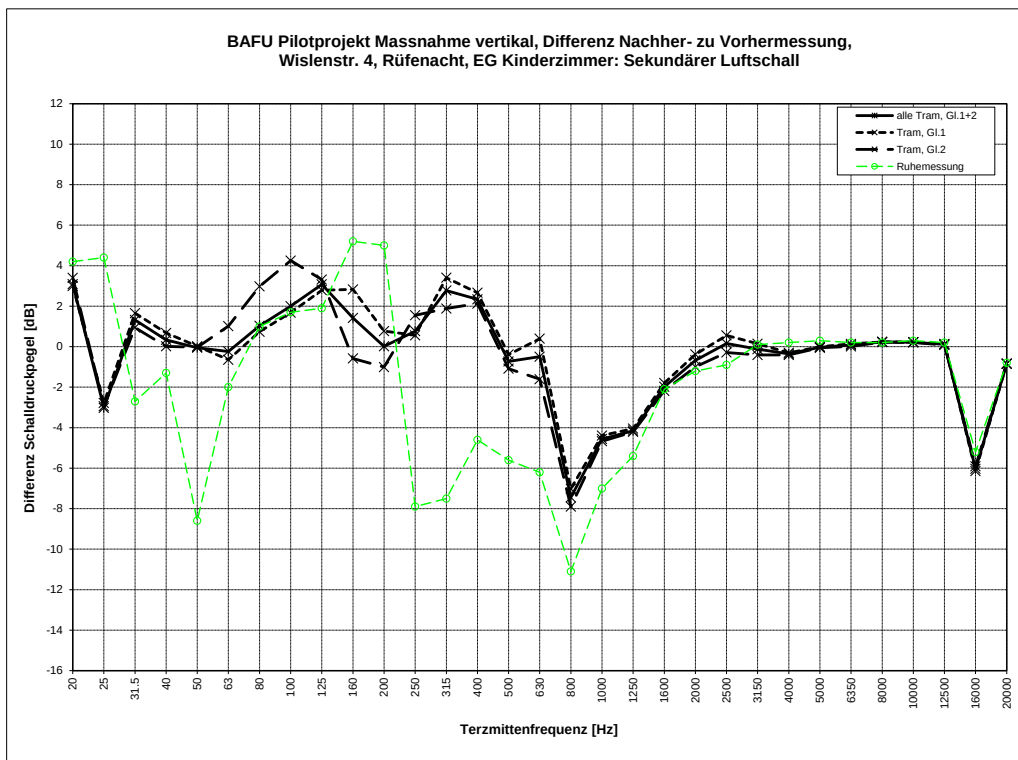


Differenzspektren Nachher- zu Vorhermessung der gemittelten Spektren der Tramfahrten und der Ruhemessung der Schallmessung im UG Gästezimmer Mik. 2-1

Mittlere Differenzspektren Nachher- zu Vorhermessung im EG



Differenzspektren Nachher- zu Vorhermessung der gemittelten Spektren der Tramfahrten und der Ruhemessung der Schallmessung im EG Schlafzimmer Mik. 1-2



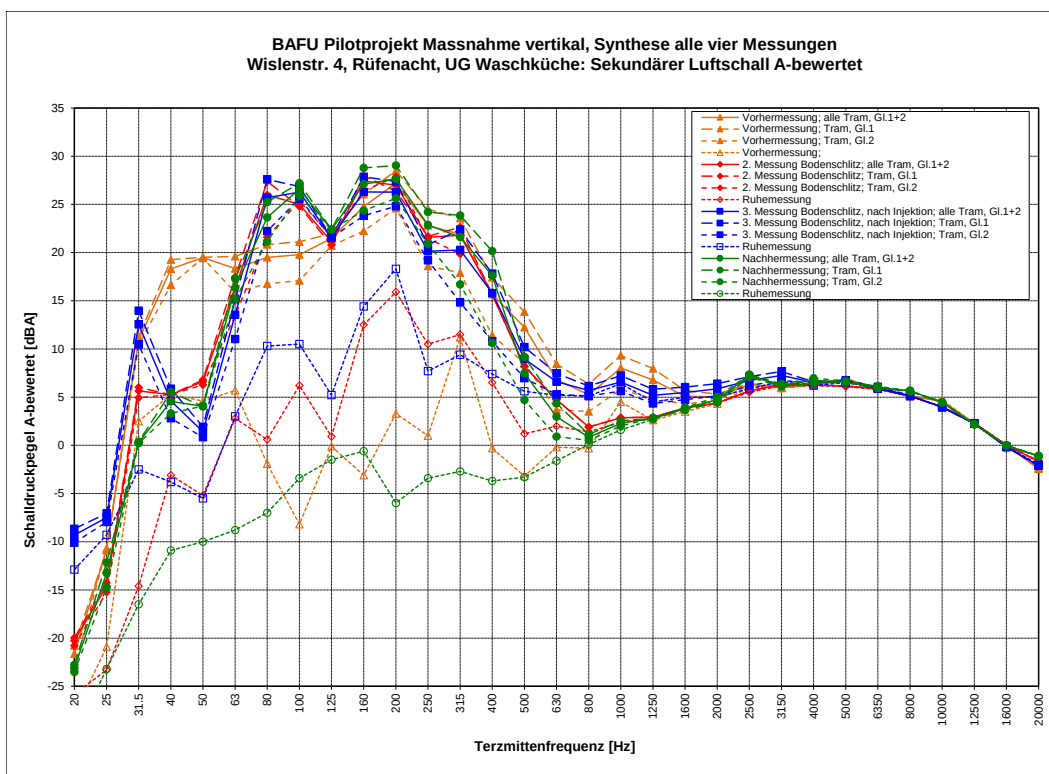
Differenzspektren Nachher- zu Vorhermessung der gemittelten Spektren der Tramfahrten und der Ruhemessung der Schallmessung im EG Kinderzimmer Mik. 2-2

Beilage 14:

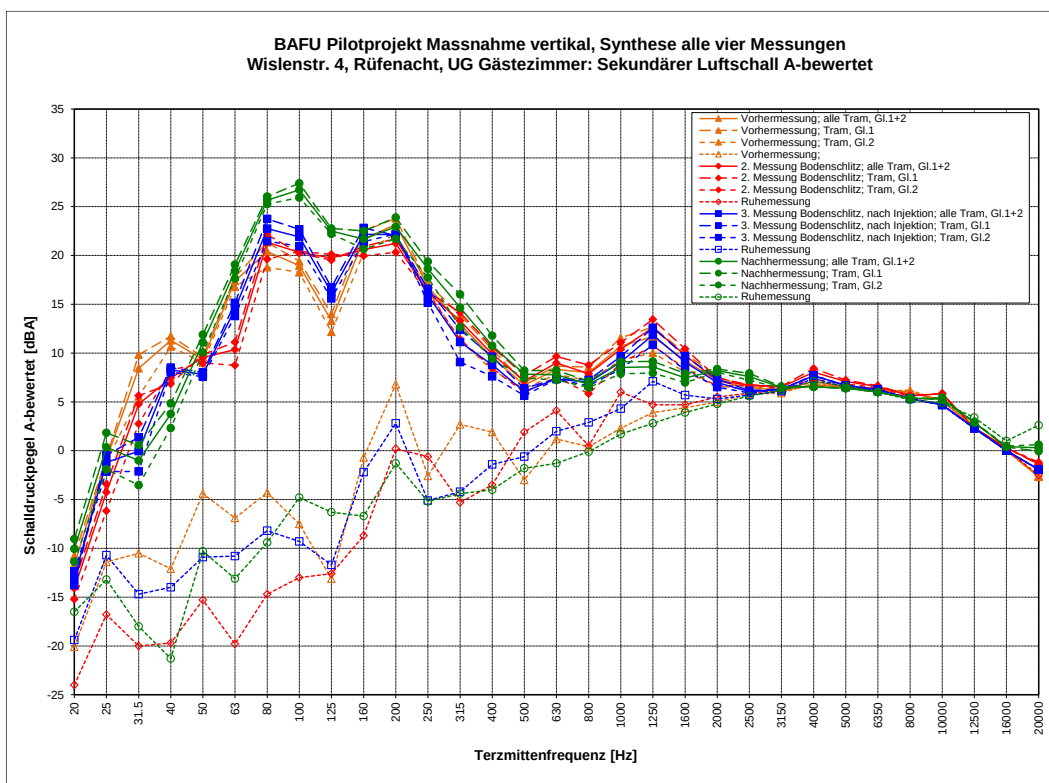
Zusammenfassung Terzbandspektren Schallmessung aller vier Messungen

(Total 2 Seiten)

Terzbandspektren Schallmessung A-bewertet im UG

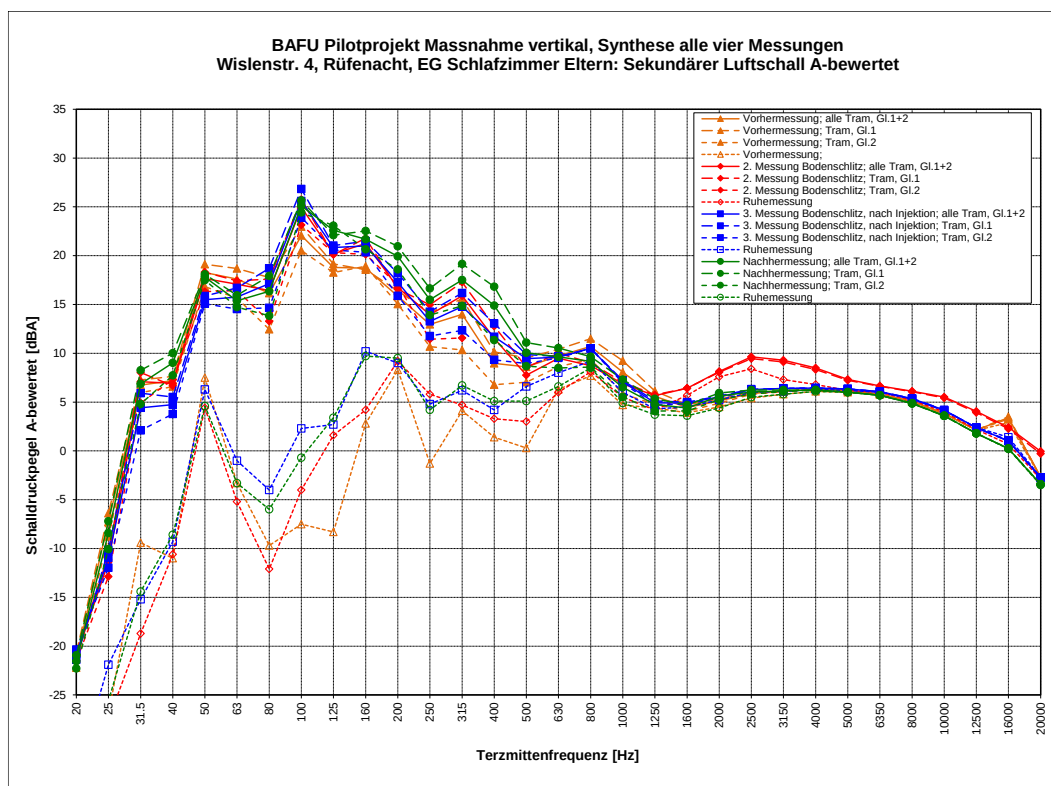


Terzbandspektren A-bewertet der vier Schallmessungen im UG Waschküche Mik. 1-1

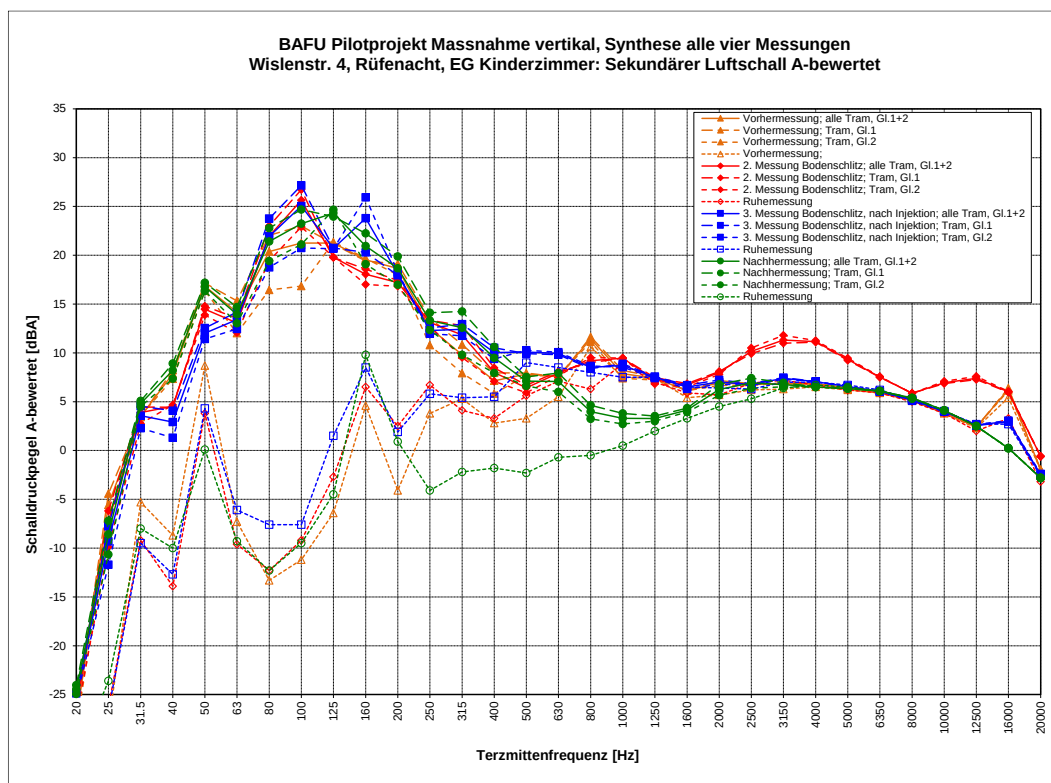


Terzbandspektren A-bewertet der vier Schallmessungen im UG Gästezimmer im Anbau Mik. 2-1

Terzbandspektren Schallmessung A-bewertet im EG



Terzbandspektren A-bewertet der vier Schallmessungen im EG Schlafzimmer Mik. 1-2



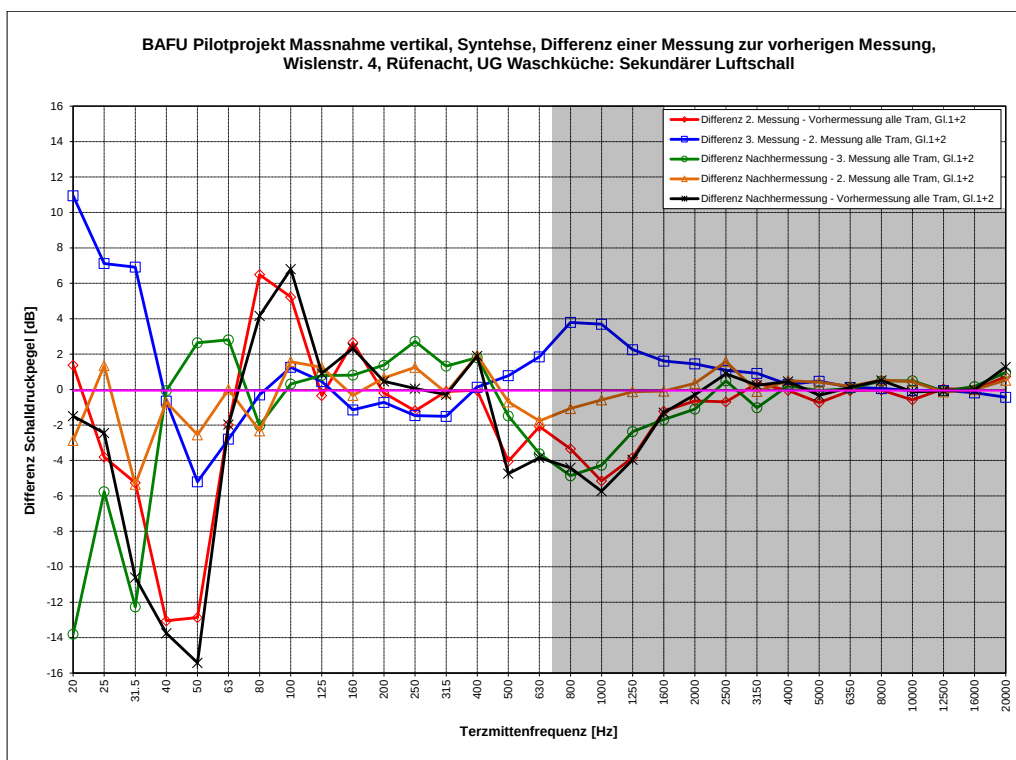
Terzbandspektren A-bewertet der vier Schallmessungen im EG Kinderzimmer im Anbau Mik. 2-2

Beilage 15:

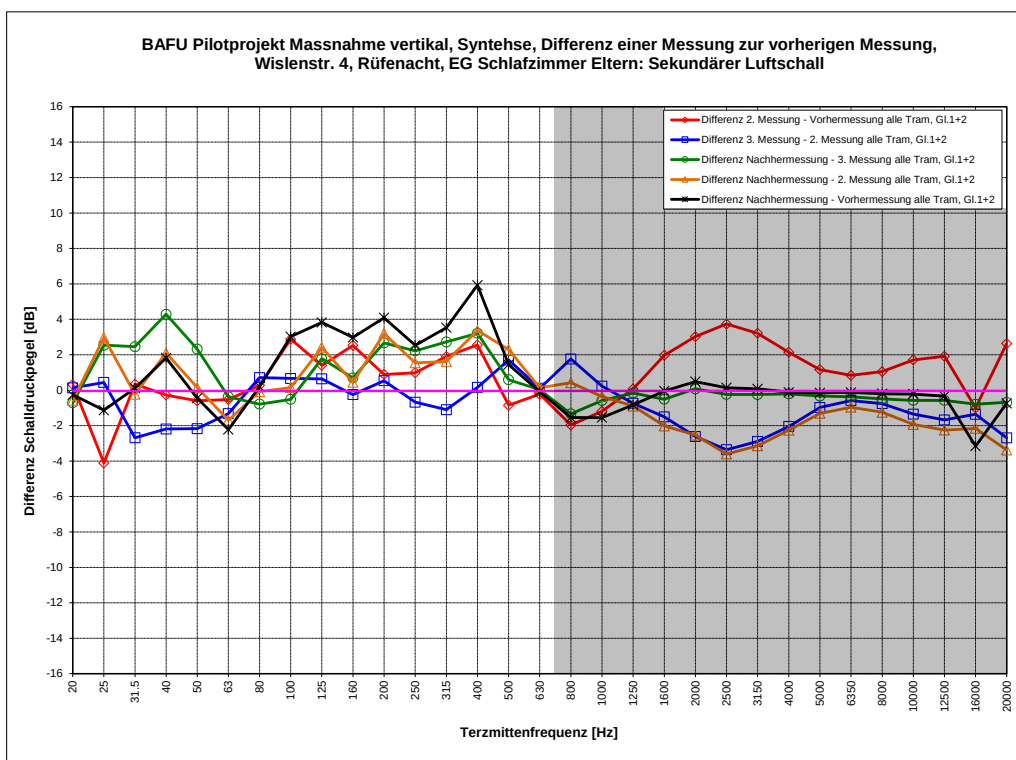
Differenzen Terzbandspektren Schallmessungen aller vier Messungen

(Total 5 Seiten)

Mittlere Differenzspektren aller vier Schallmessungen im UG

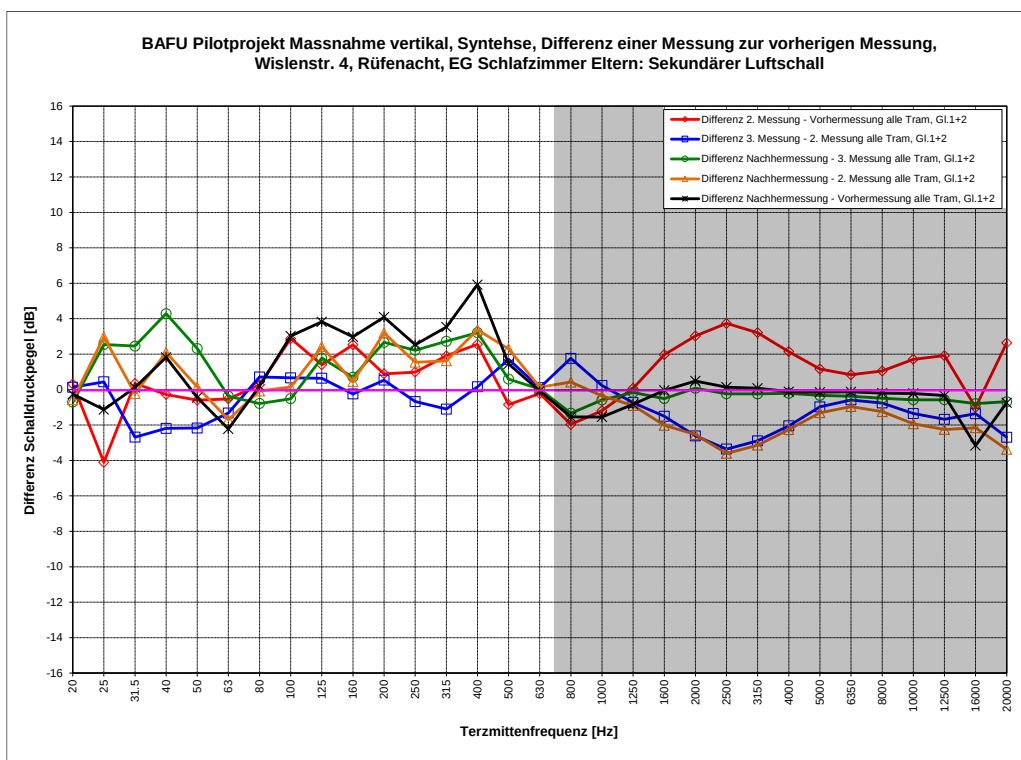


Differenzspektren der gemittelten Spektren der Tramfahrten
der vier Schallmessung im UG Waschküche Mik. 1-1

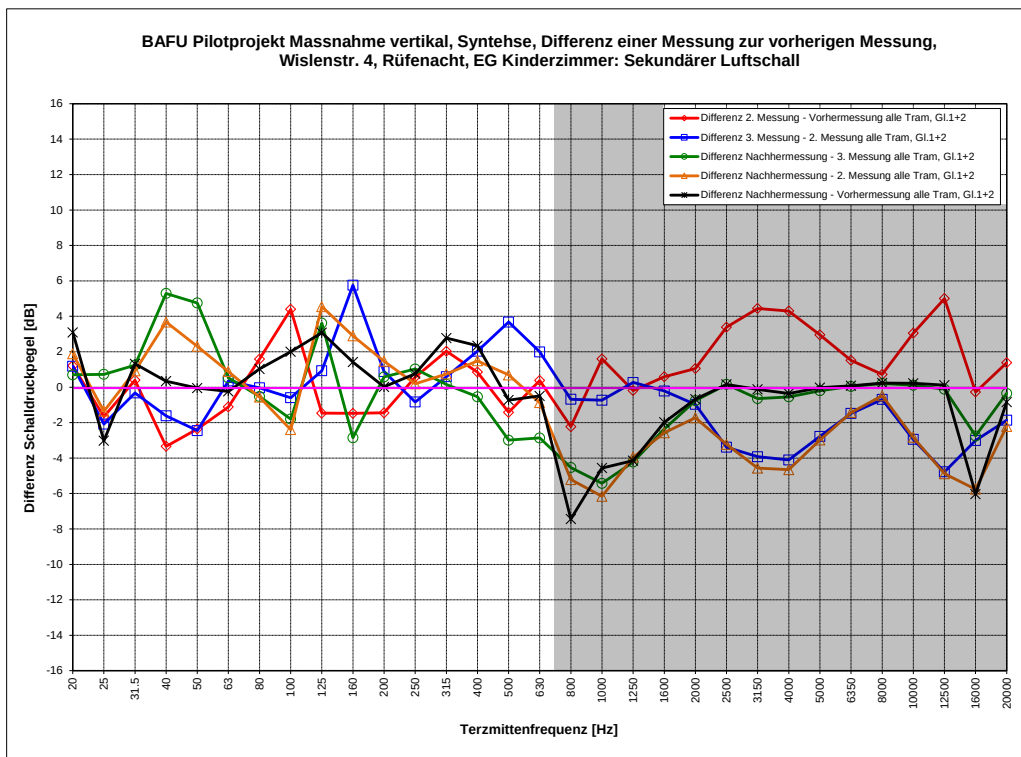


Differenzspektren der gemittelten Spektren der Tramfahrten
der vier Schallmessung im UG Gästezimmer Mik. 2-1,
graue Bereiche nur Grundrauschen

Mittlere Differenzspektren aller vier Schallmessungen im EG

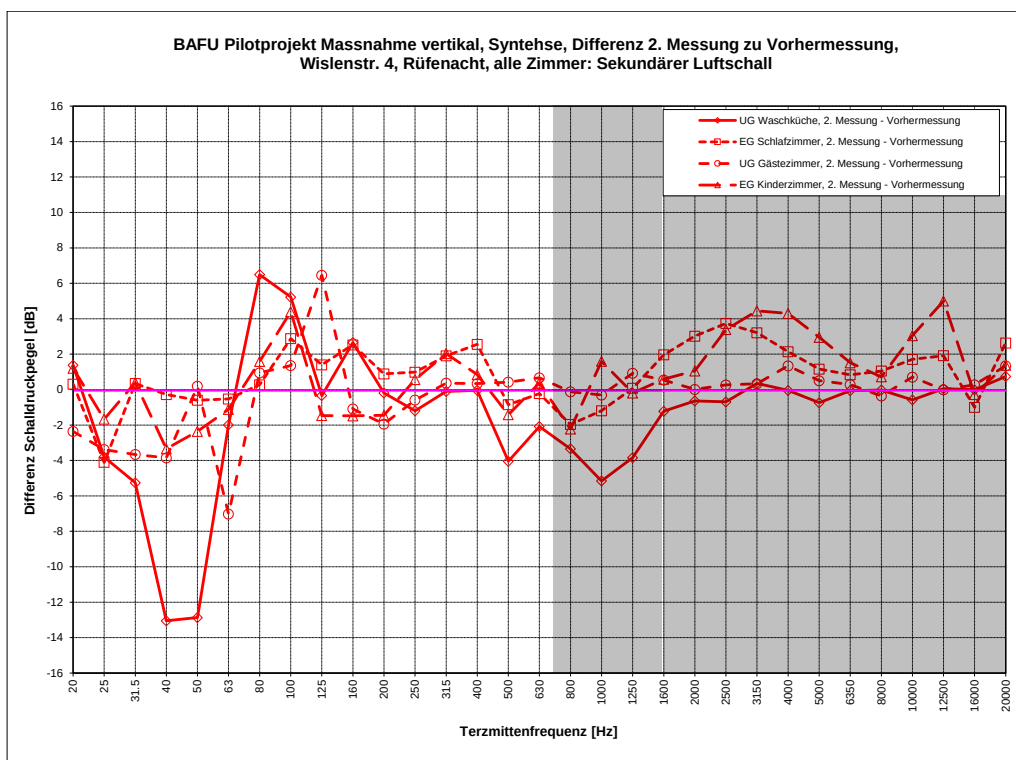


Differenzspektren der gemittelten Spektren der Tramfahrten
der vier Schallmessung im EG Schlafzimmer Mik. 1-2

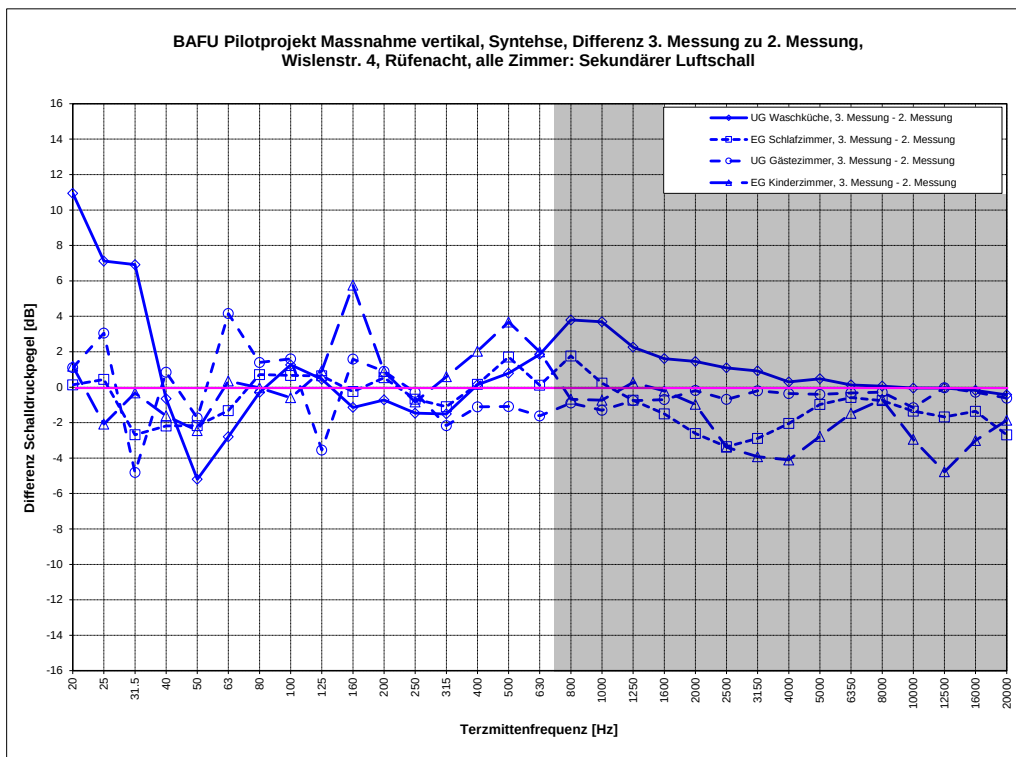


Differenzspektren der gemittelten Spektren der Tramfahrten
der vier Schallmessung im EG Kinderzimmer Mik. 2-2,
graue Bereiche nur Grundrauschen

Mittlere Differenzspektren aller vier Schallmessungen

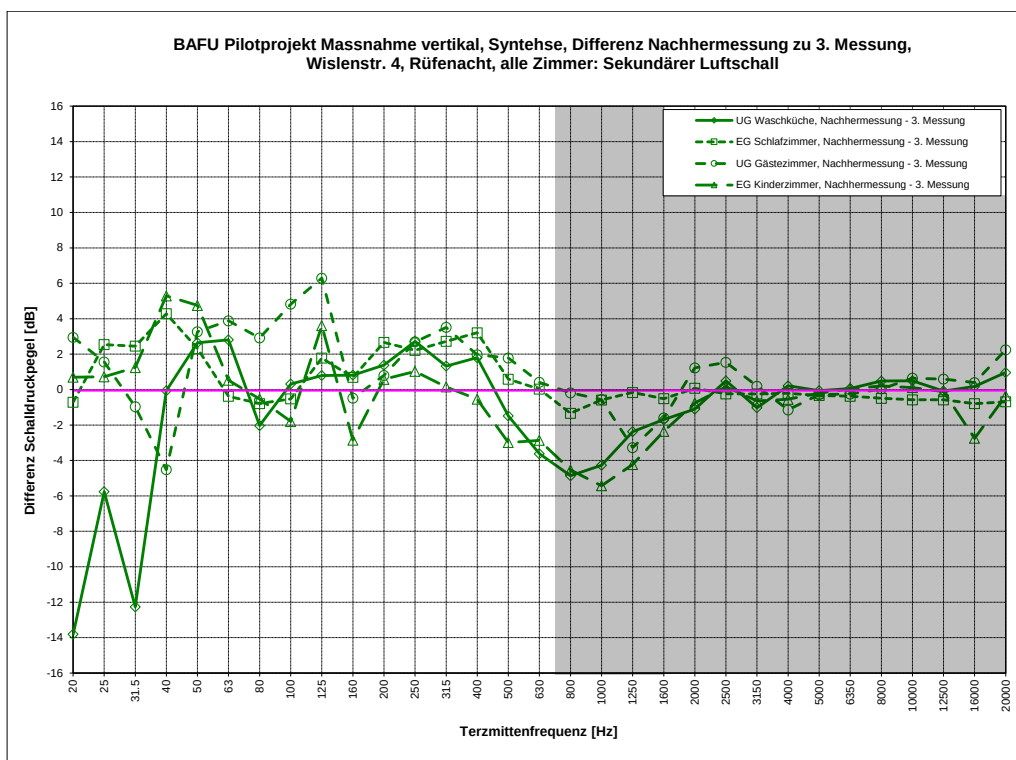


Differenzspektren 2. Messung zu Vorhermessung der gemittelten Spektren der Tramfahrten in allen gemessenen Räumen

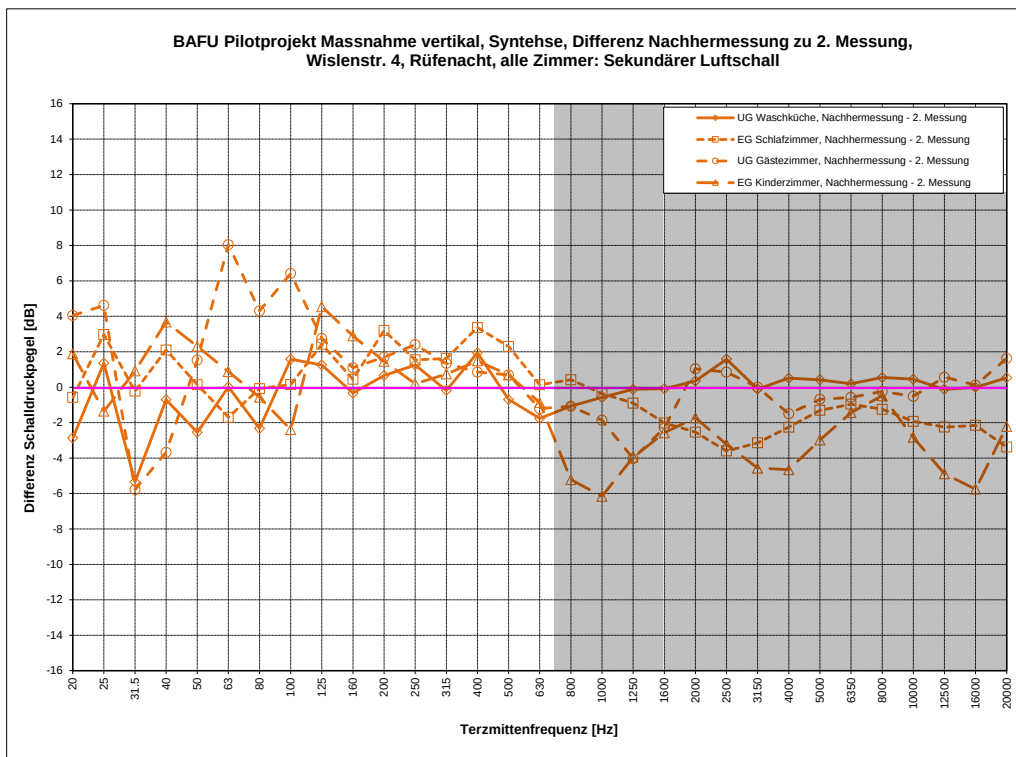


Differenzspektren 3. Messung zu 2. Messung der gemittelten Spektren der Tramfahrten in allen gemessenen Räumen, graue Bereiche nur Grundrauschen

Mittlere Differenzspektren aller vier Schallmessungen

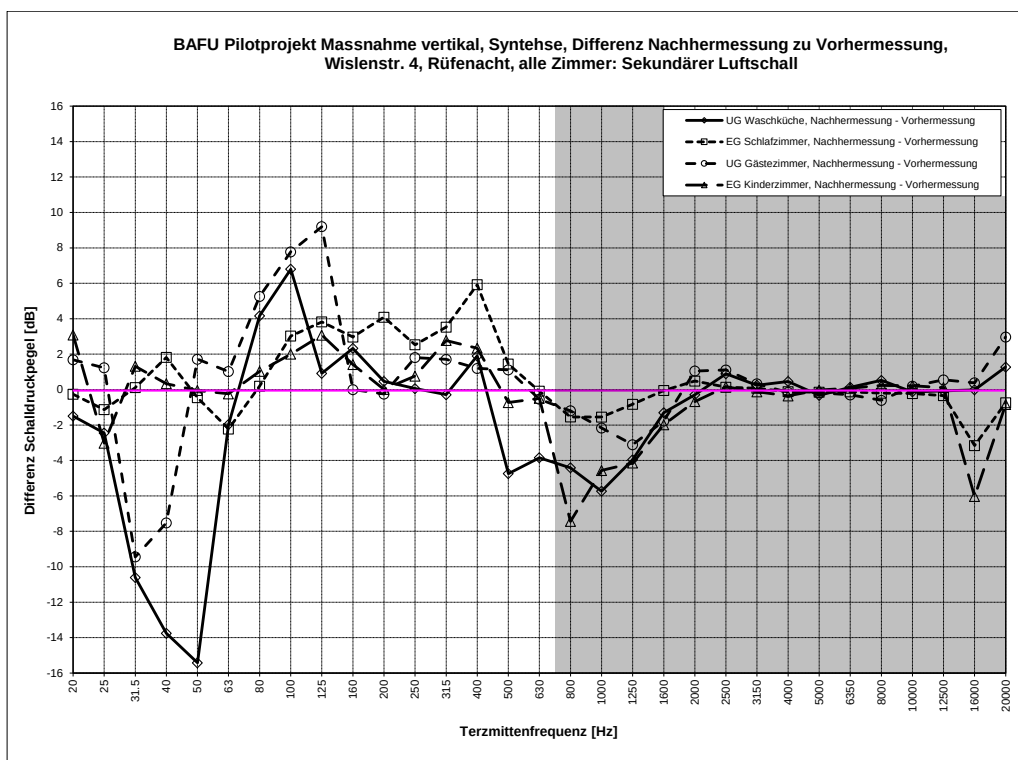


Differenzspektren Nachhermessung zu 3. Messung der gemittelten Spektren der Tramfahrten in allen gemessenen Räumen



Differenzspektren Nachhermessung zu 2. Messung der gemittelten Spektren der Tramfahrten in allen gemessenen Räumen, graue Bereiche nur Grundrauschen

Mittlere Differenzspektren aller vier Schallmessungen



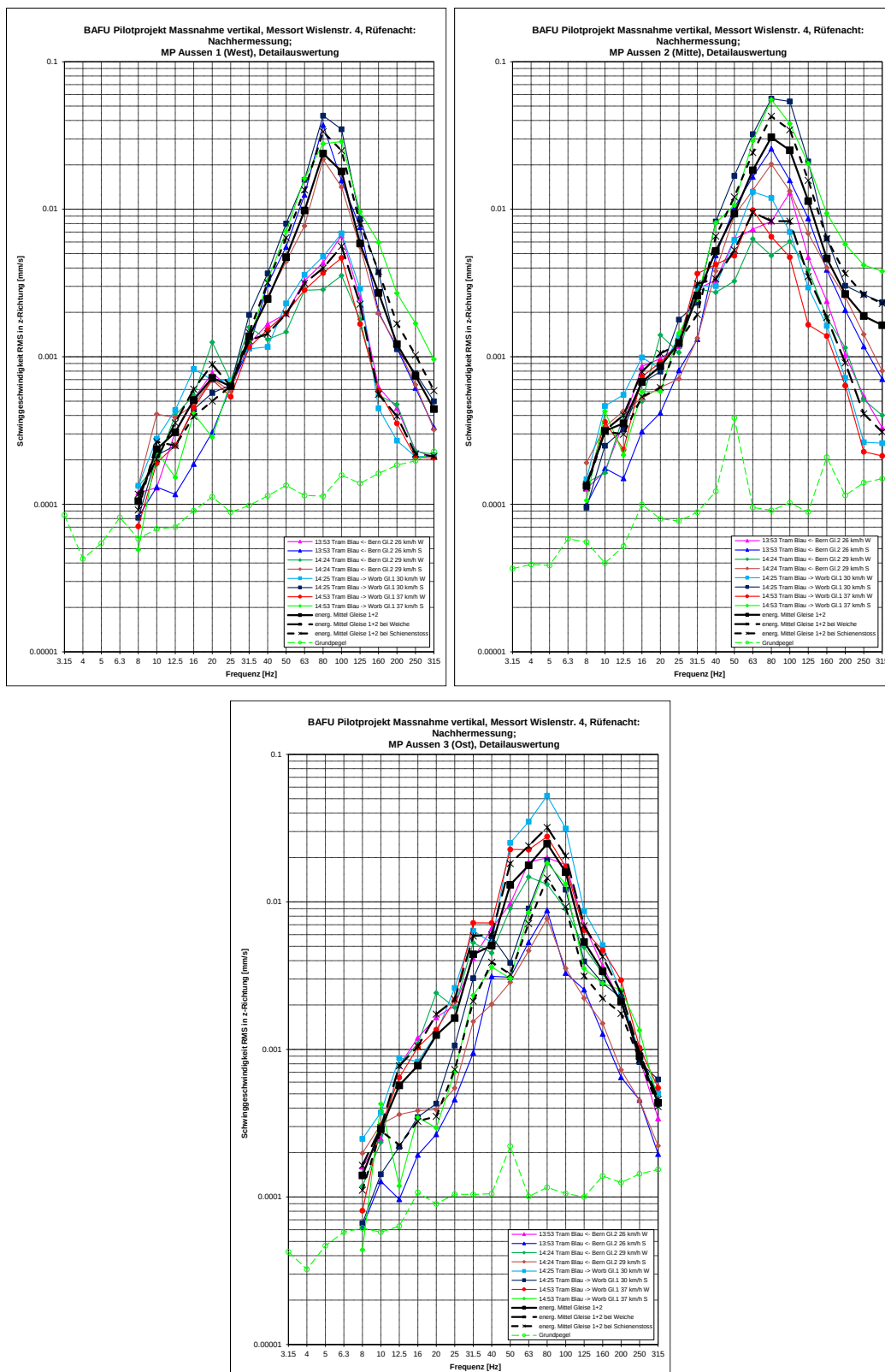
Differenzspektren Nachhermessung zu Vorhermessung der gemittelten Spektren der Tramfahrten in allen gemessenen Räumen, grauer Bereich nur Grundrauschen

Beilage 16:

Detailanalyse Erschütterungsmessungen: Terzbandspektren der Nachhermessung

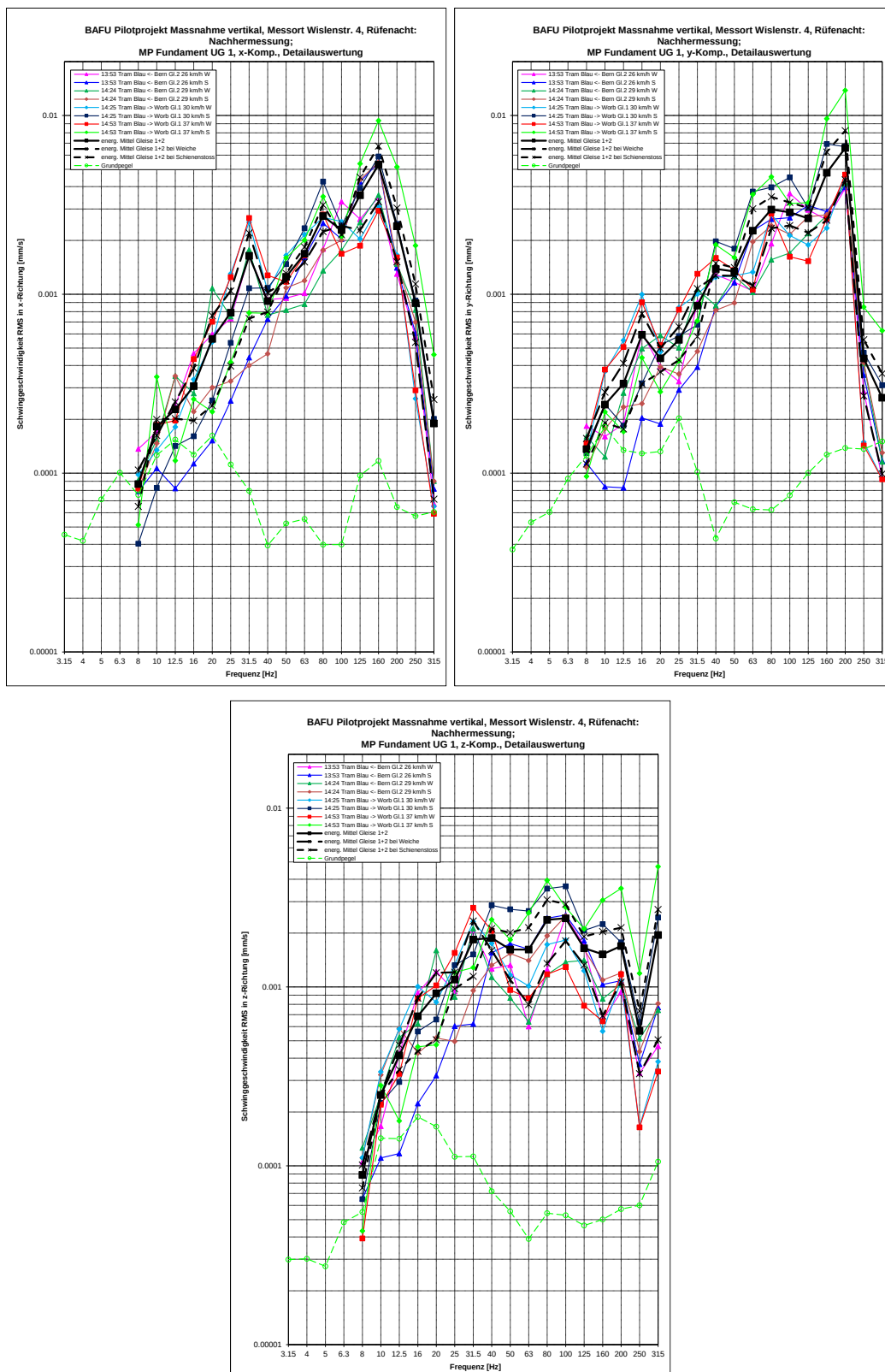
(Total 6 Seiten)

Detailanalyse Nachhermessung, ausgewählte Terzbandspektren



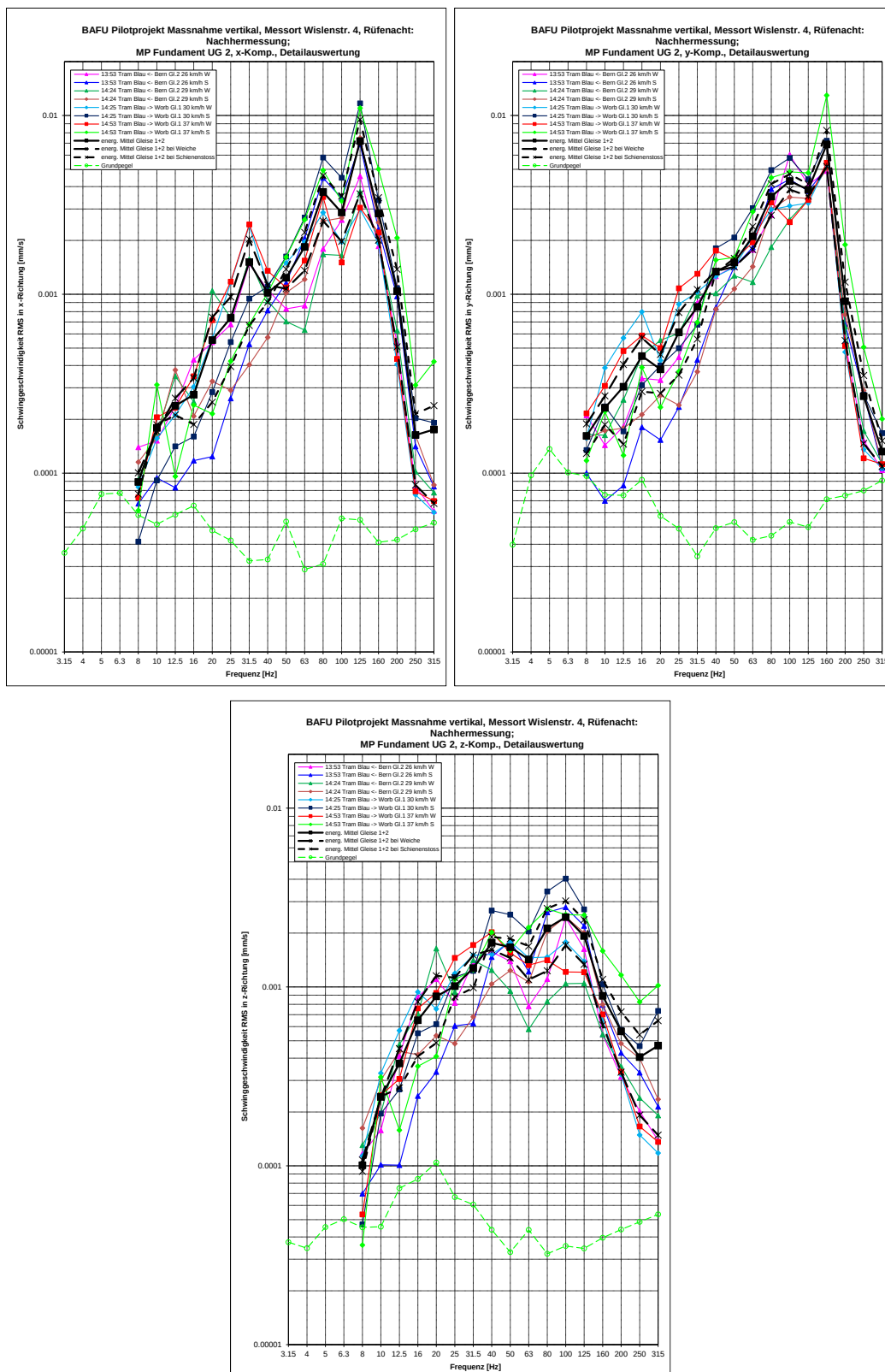
Messpunkte Aussen 1-3, z-Komponente vor dem Gebäude West, Mitte, Ost;
Zeitfenster Tram bei Weiche, bzw. bei Schienenstoss

Detailanalyse Nachhermessung, ausgewählte Terzbandspektren



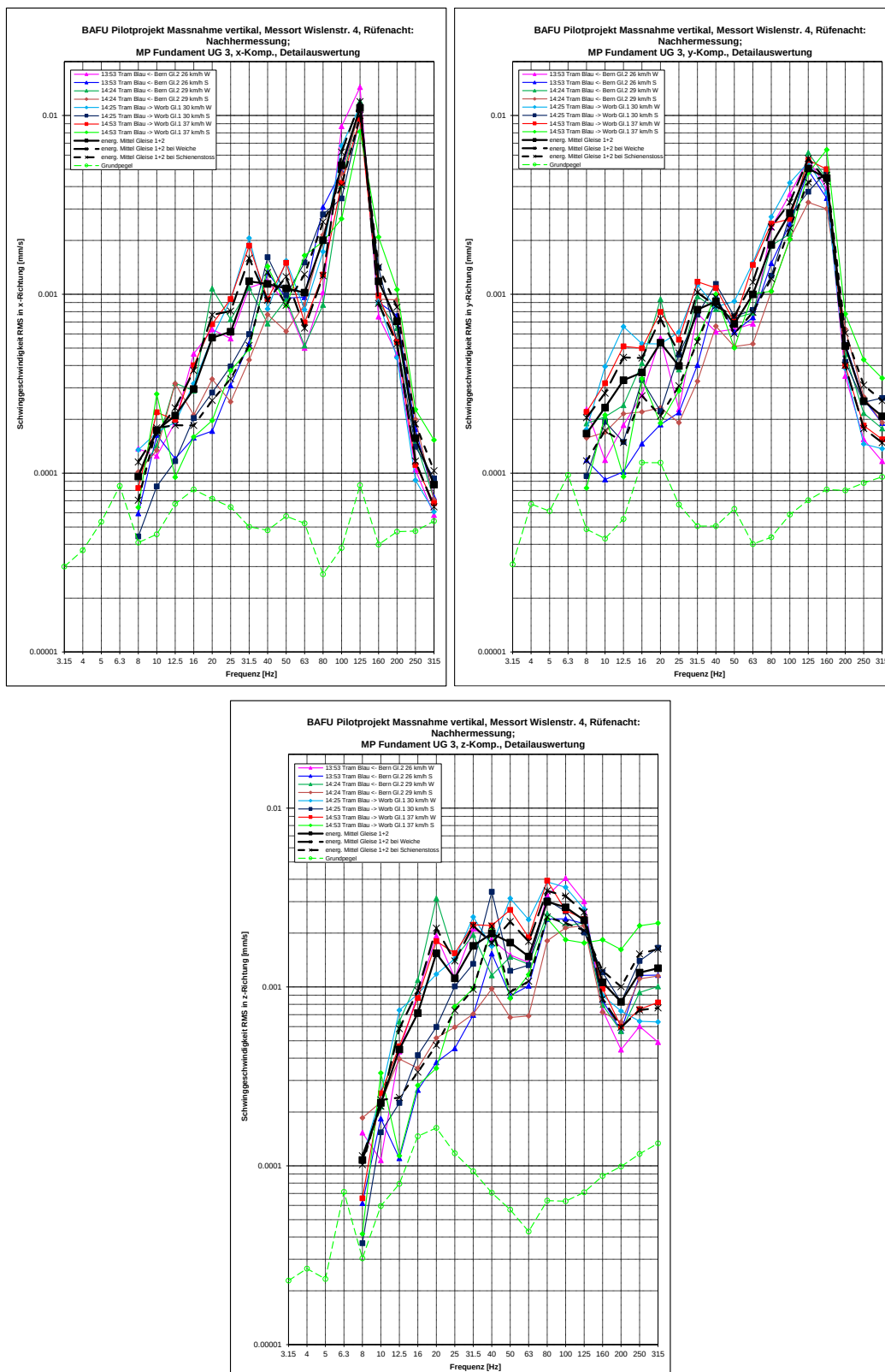
Messpunkt Fundament UG 1 Waschküche, x-, y-, z-Komponenten;
Zeitfenster Tram bei Weiche, bzw. bei Schienenstoss

Detailanalyse Nachhermessung, ausgewählte Terzbandspektren



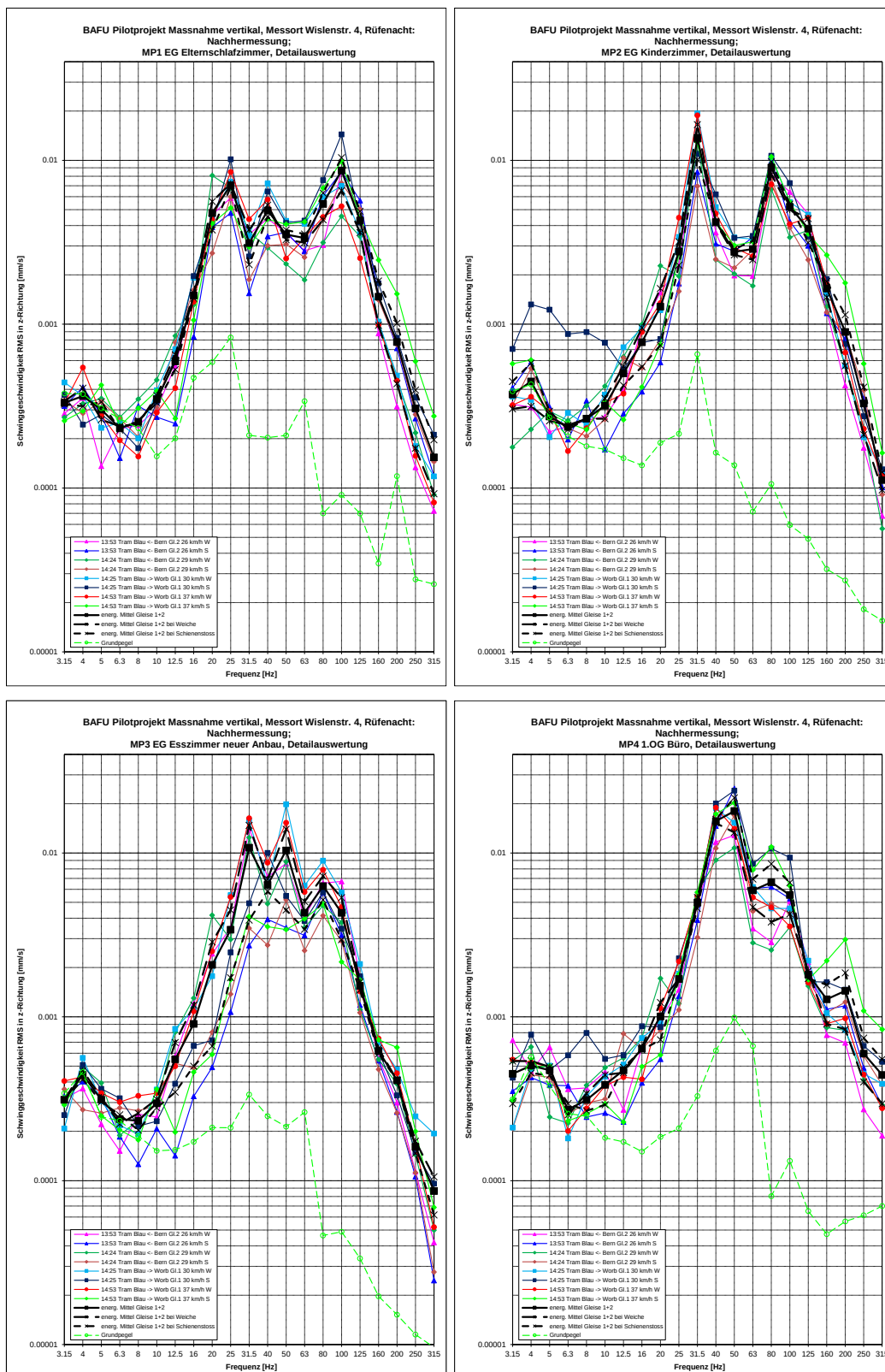
Messpunkt Fundament UG 2 unter der Treppe Heizraum, x-, y-, z-Komponenten;
Zeitfenster Tram bei Weiche, bzw. bei Schienenstoss

Detailanalyse Nachhermessung, ausgewählte Terzbandspektren



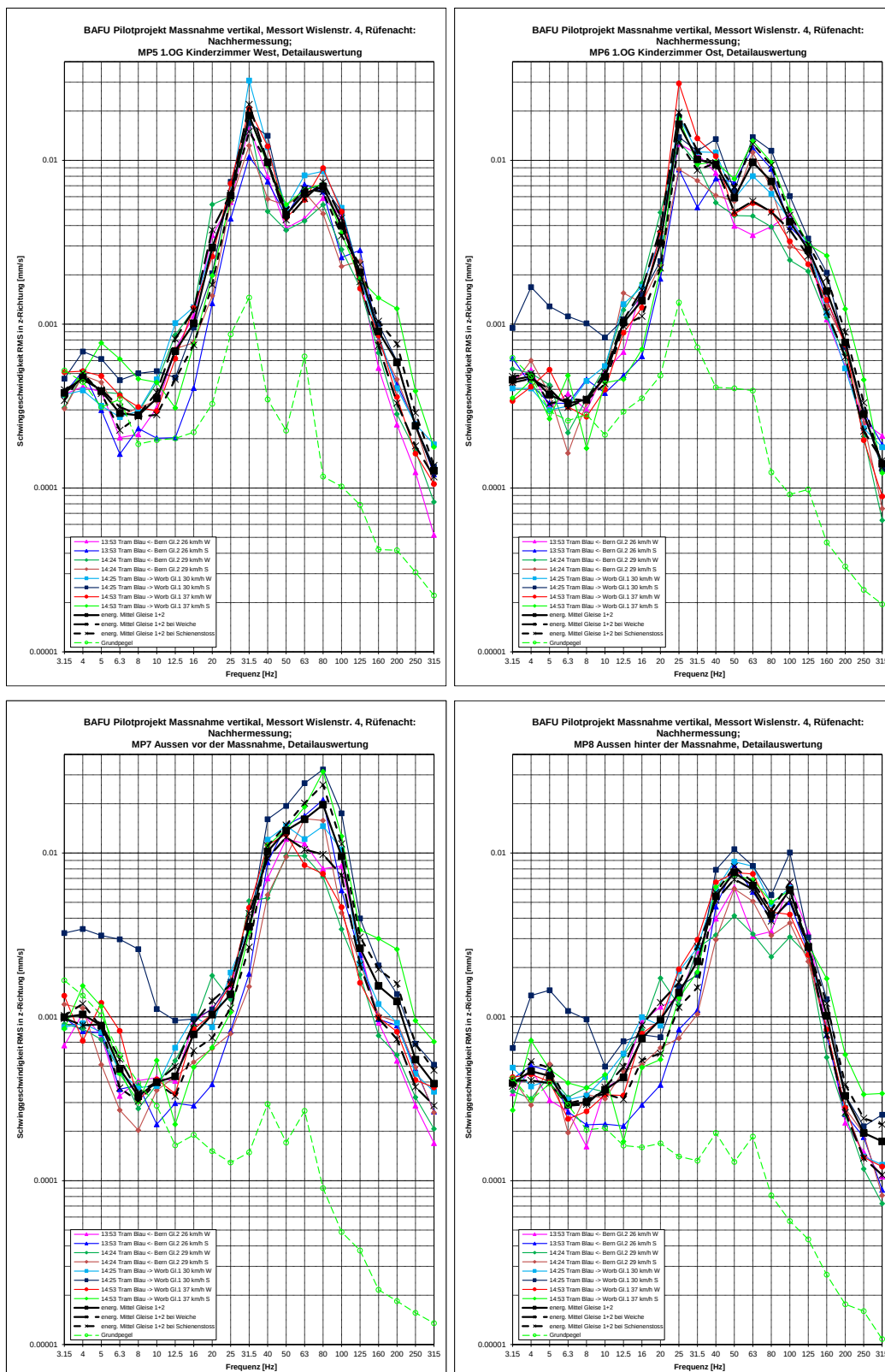
Messpunkt Fundament UG 3 Gästezimmer im Anbau, x-, y-, z-Komponenten;
Zeitfenster Tram bei Weiche, bzw. bei Schienenstoss

Detailanalyse Nachhermessung, ausgewählte Terzbandspektren



Messpunkte MP1-MP4 in den Zimmern EG und OG, z-Komponente;
Zeitfenster Tram bei Weiche, bzw. bei Schienenstoss

Detailanalyse Nachhermessung, ausgewählte Terzbandspektren



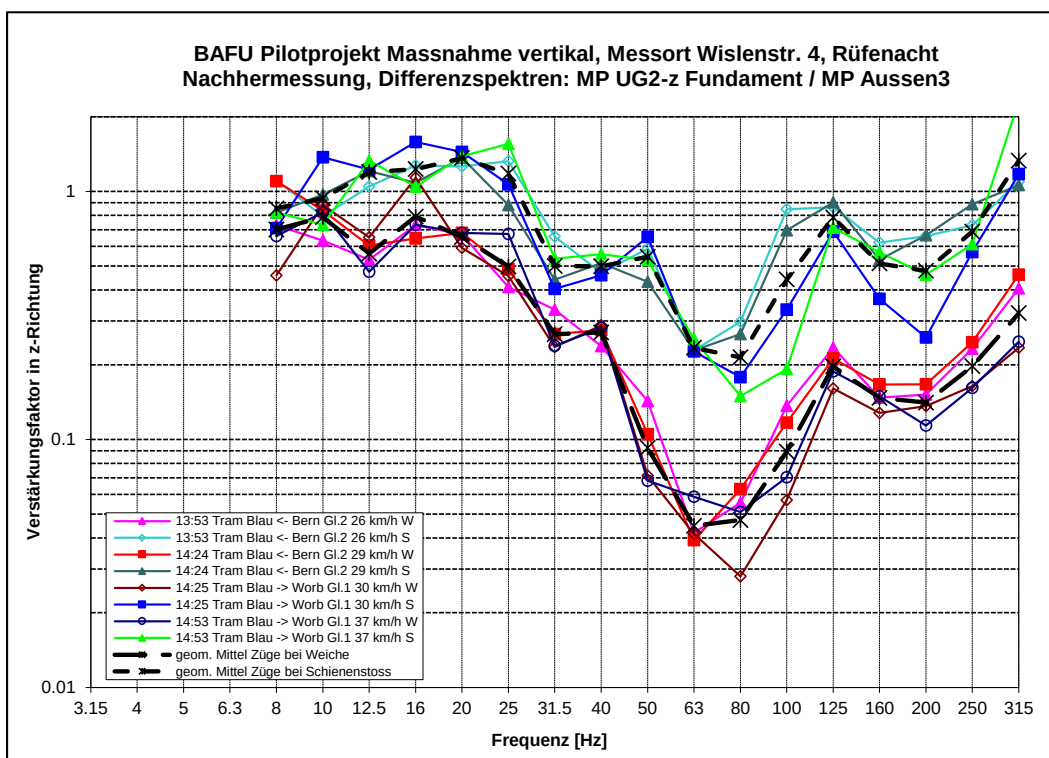
Messpunkte MP5-MP6 in den Zimmern OG und MP7-MP8 vor und hinter der Massnahme, z-Komponente; Zeitfenster Tram bei Weiche, bzw. bei Schienenstoss

Beilage 17:

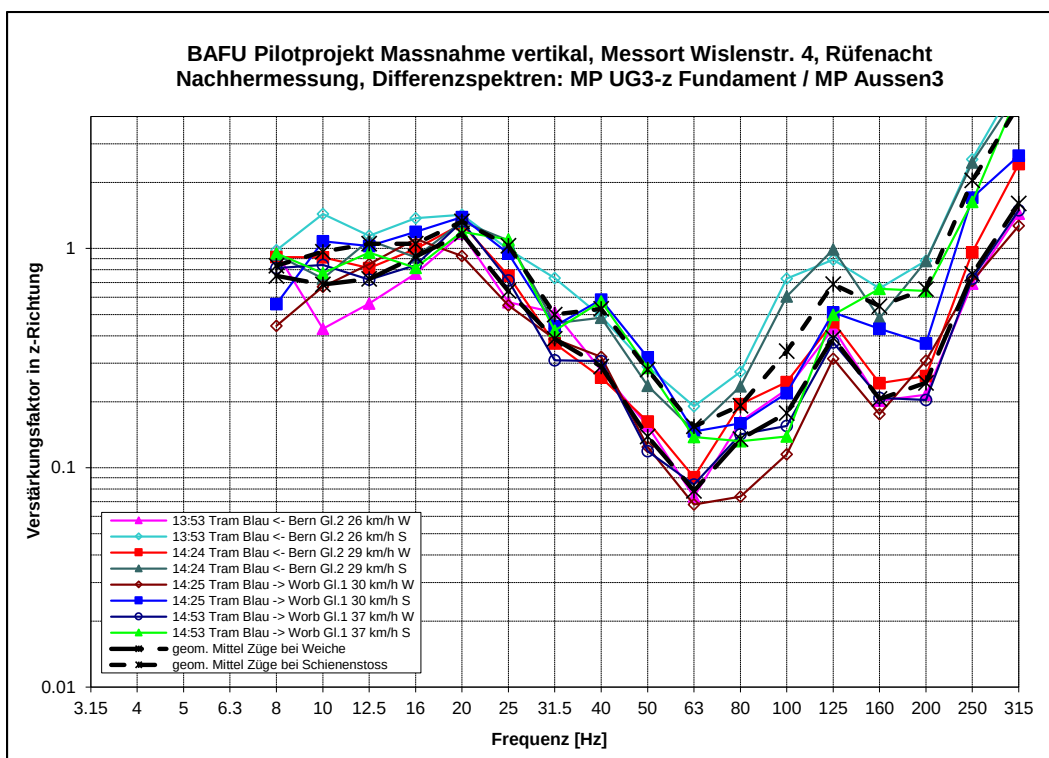
Detailanalyse Erschütterungsmessungen: Ausgewählte Transferspektren der Nachhermessung

(Total 2 Seiten)

Detailanalyse Nachhermessung, ausgewählte Transferspektren

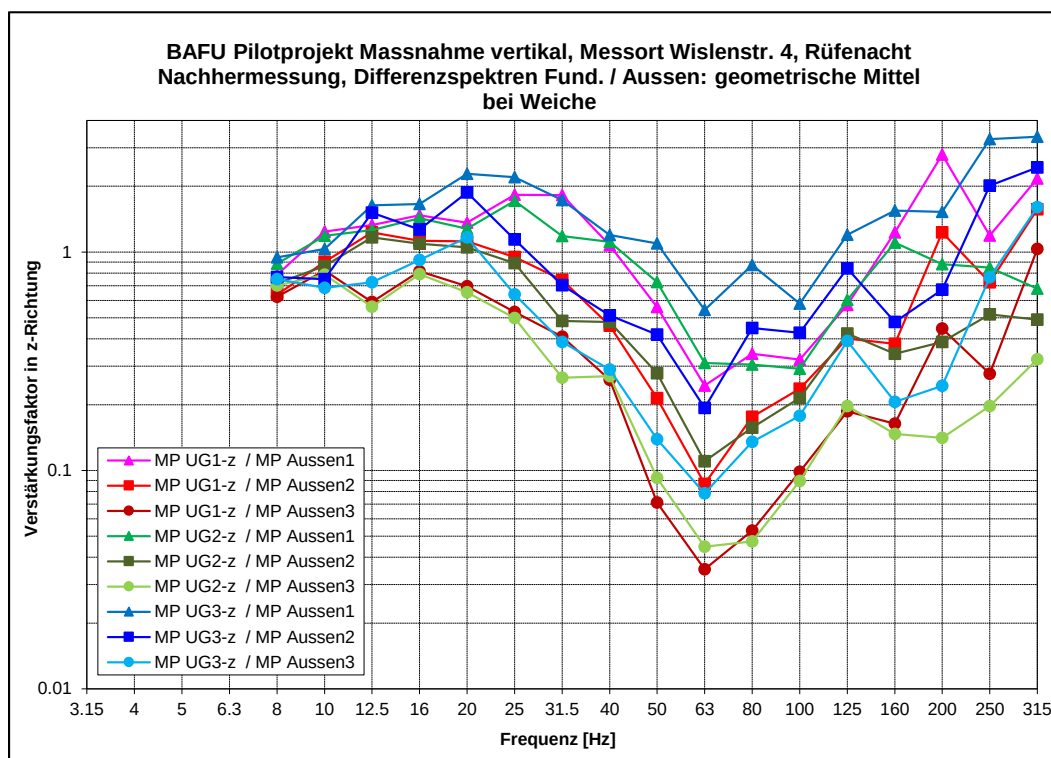


Differenzspektren MP UG2/MP Aussen3, als Beispiel für Streuung der Einzelspektren

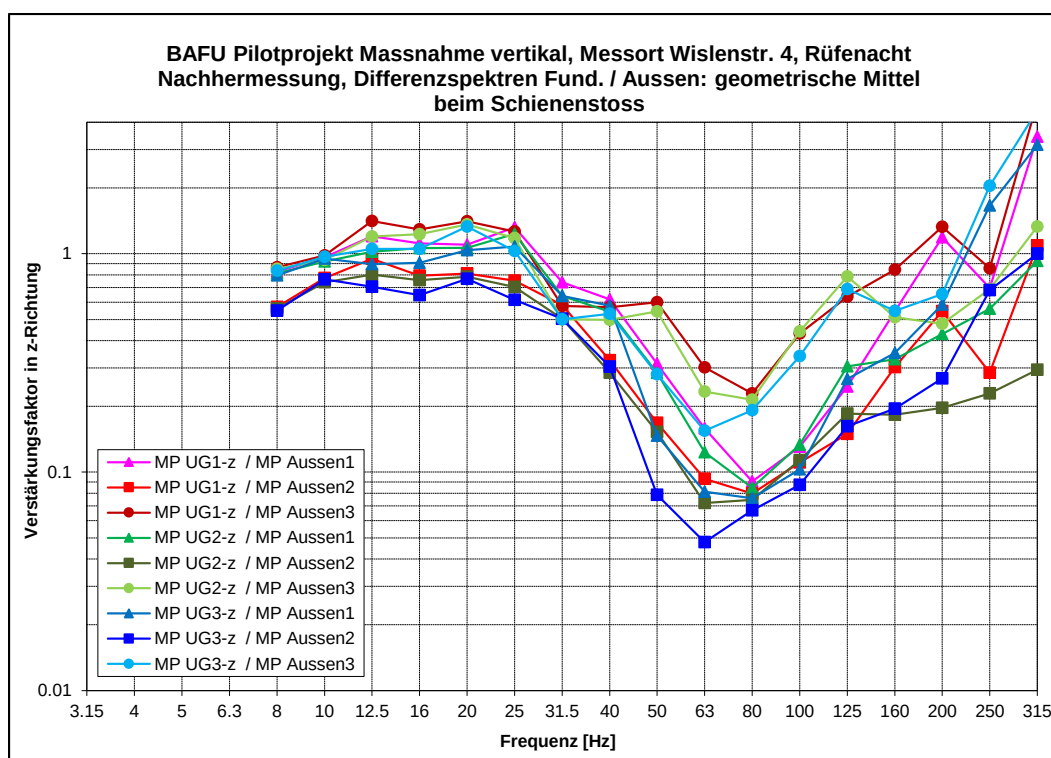


Differenzspektren MP UG3/MP Aussen3, als Beispiel für Streuung der Einzelspektren

Detailanalyse Nachhermessung, ausgewählte Transferspektren



Geom. Mittel der Differenzspektren, Fundament-MP gegenüber MP Aussen bei Weiche



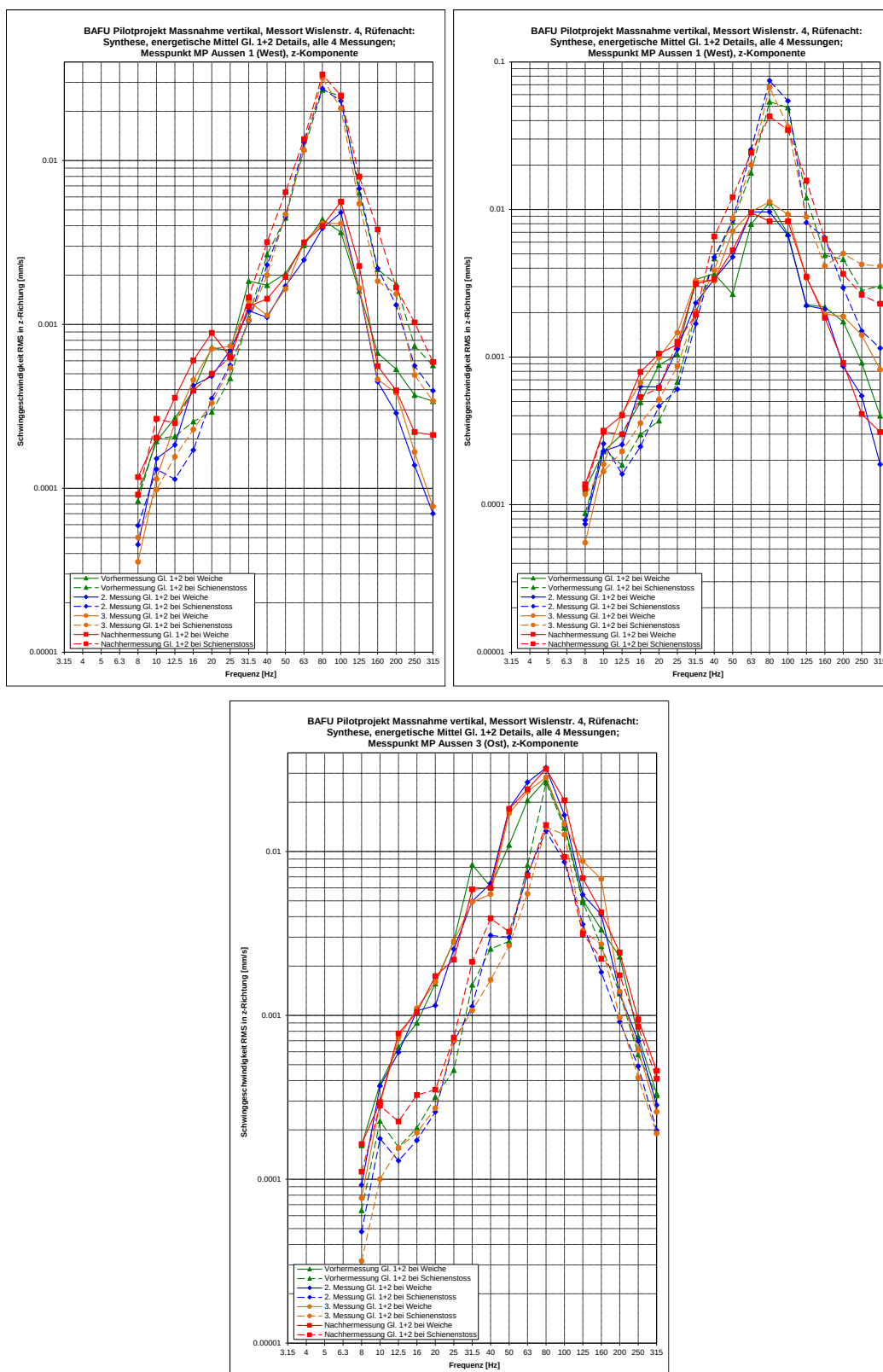
Geom. Mittel der Differenzspektren, Fundament-MP gegenüber MP Aussen beim Schienenstoss

Beilage 18:

Zusammenfassung Terzbandspektren der Detailanalyse Erschütterungen aller vier Messungen

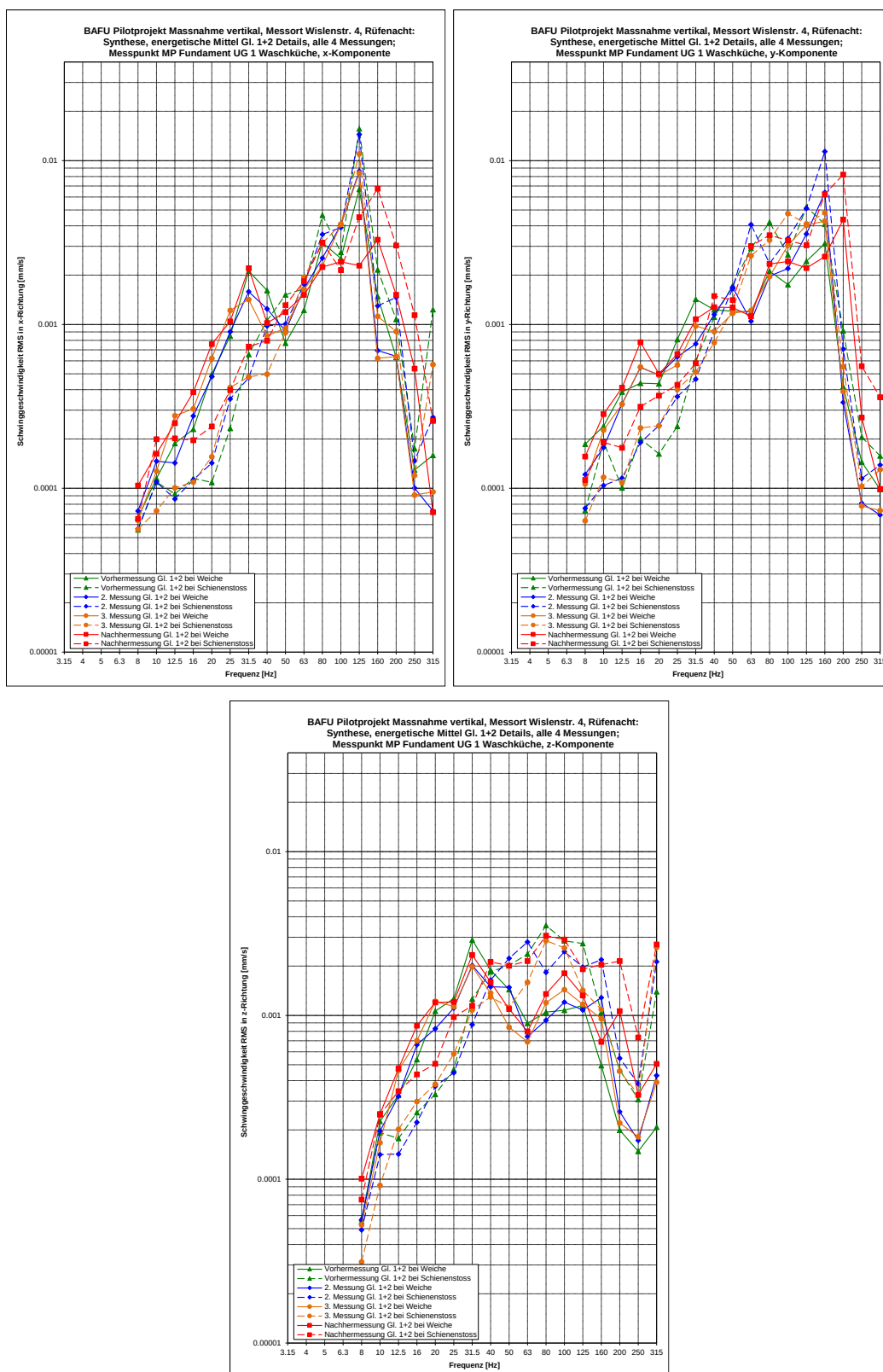
(Total 6 Seiten)

Mittlere Terzbandspektren Detailanalyse der vier Messungen



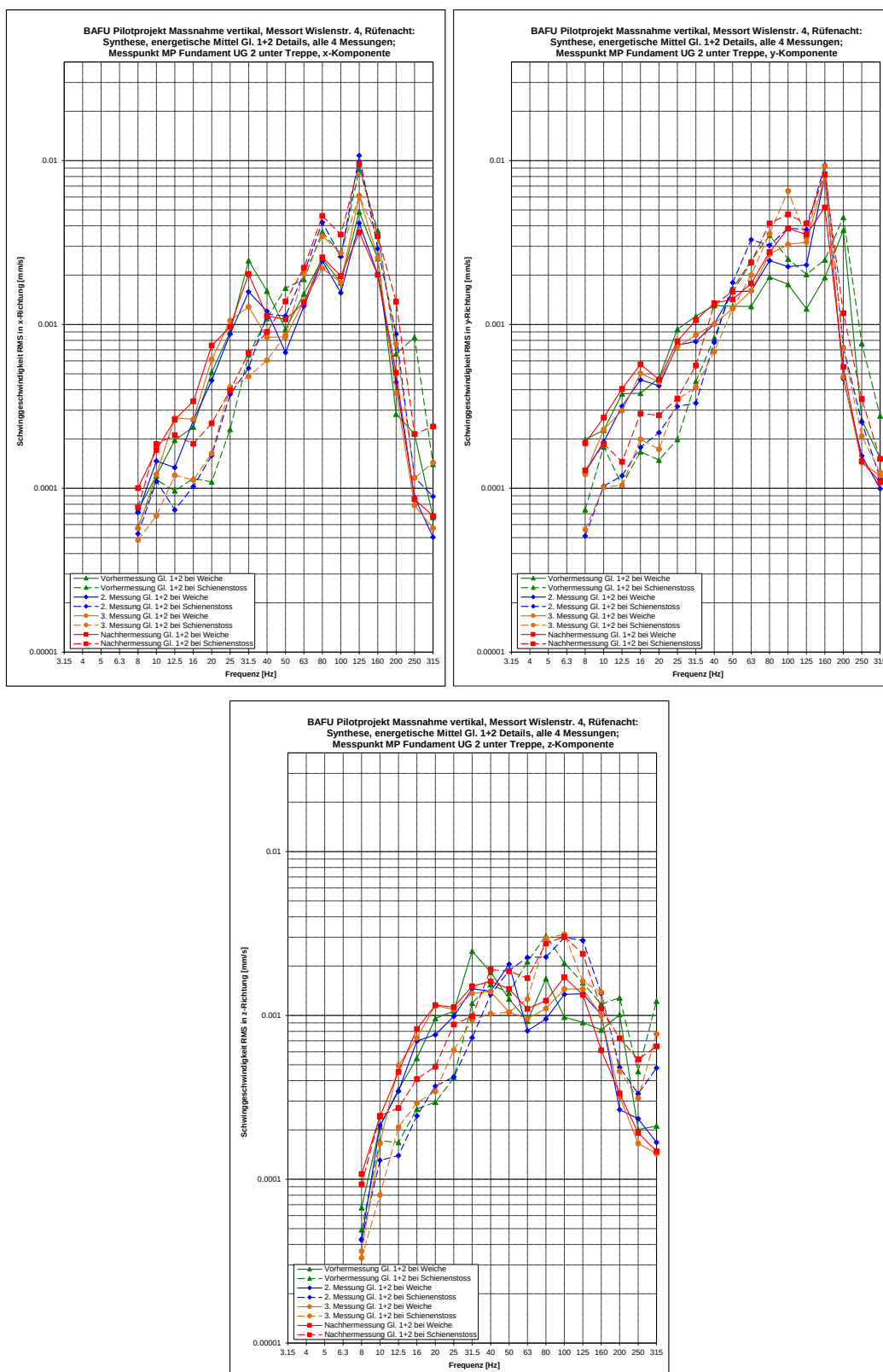
Energetische Mittelungsspektren der vier Messungen
der Messpunkte Aussen 1-3, z-Komponente für Tram auf Gleis 1 und 2;
Zeitfenster Tram bei Weiche, bzw. bei Schienenstoss

Mittlere Terzbandspektren Detailanalyse der vier Messungen



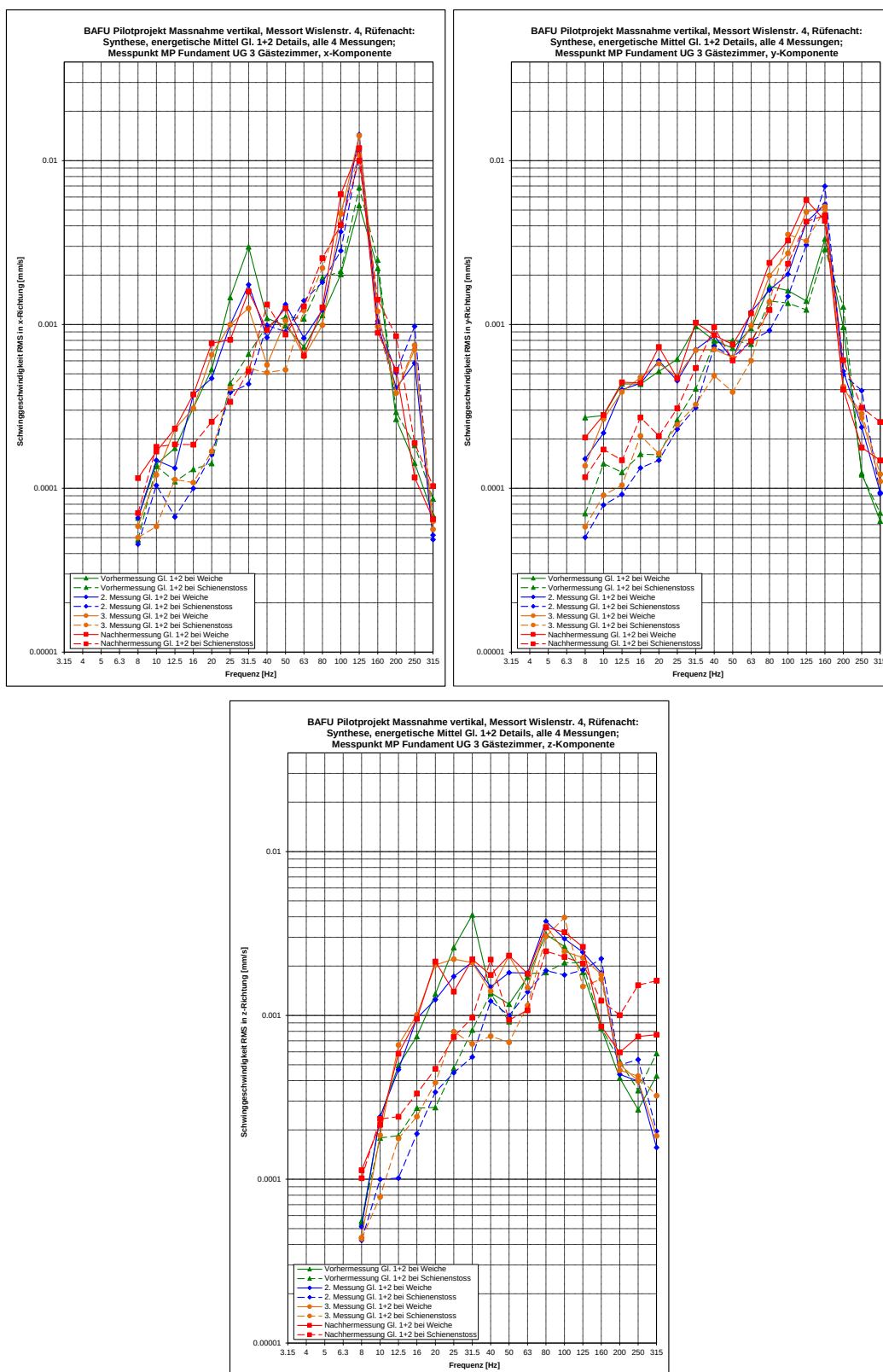
Energetische Mittelungsspektren der vier Messungen des Messpunktes
Fundament UG 1 Waschküche, x-, y-, z-Komponenten für Tram auf Gleis 1 und 2;
Zeitfenster Tram bei Weiche, bzw. bei Schienenstoss

Mittlere Terzbandspektren Detailanalyse der vier Messungen



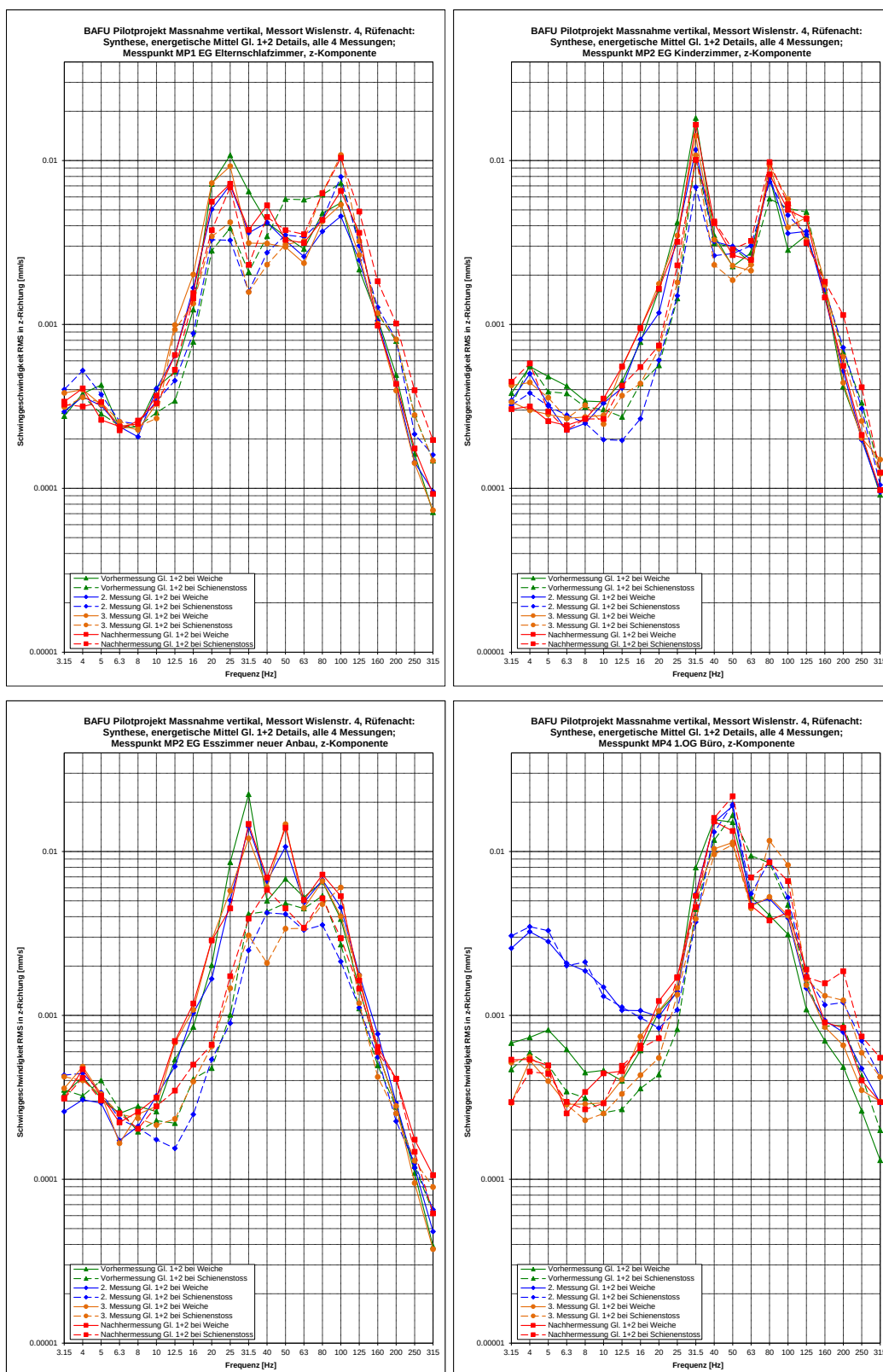
Energetische Mittelungsspektren der vier Messungen des Messpunktes
Fundament UG 2 unter der Treppe, x-, y-, z-Komponenten für Tram auf Gleis 1 und 2;
Zeitfenster Tram bei Weiche, bzw. bei Schienenstoss

Mittlere Terzbandspektren Detailanalyse der vier Messungen



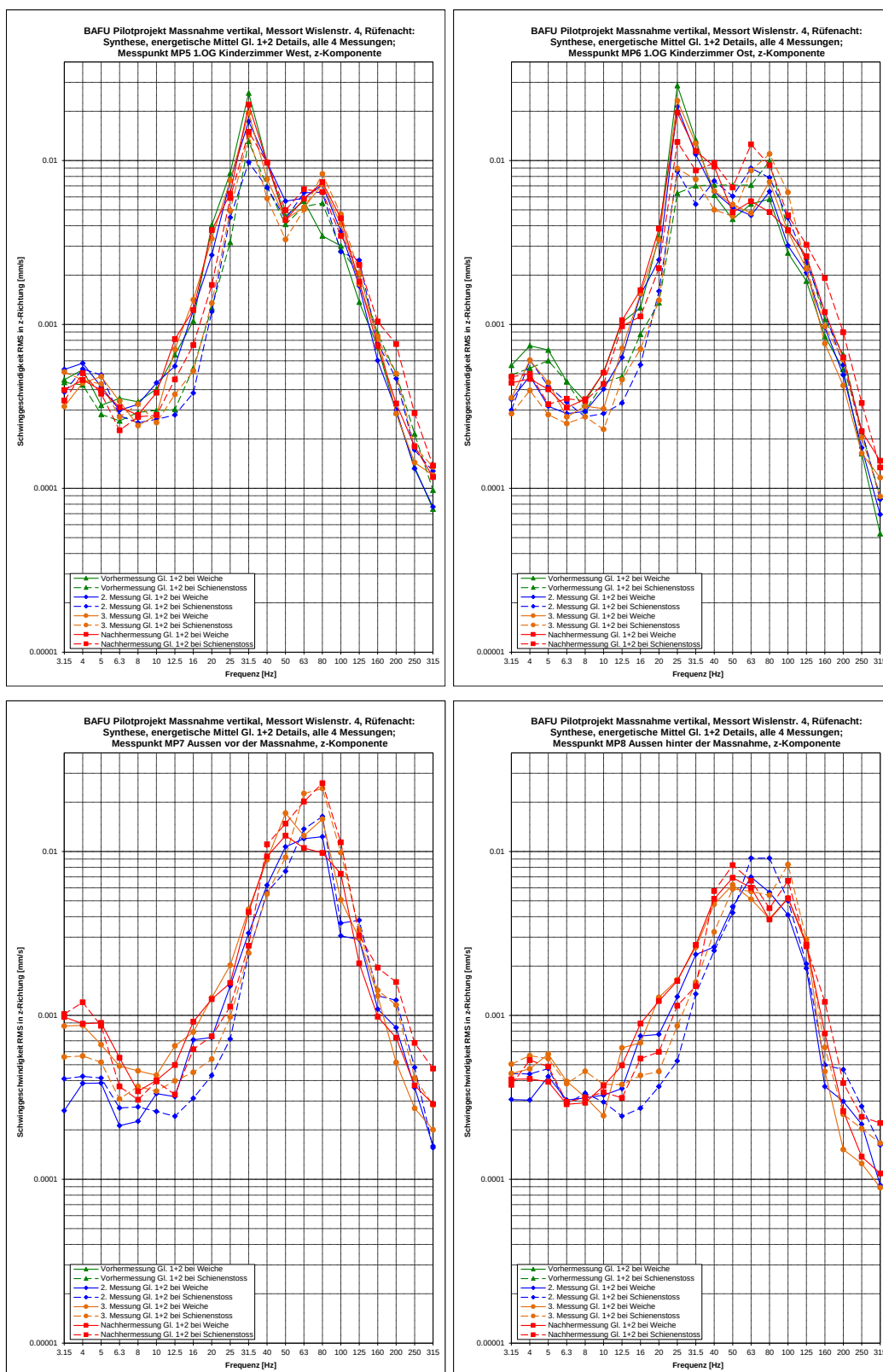
Energetische Mittelungsspektren der vier Messungen des Messpunktes
Fundament UG 3 Gästezimmer, x-, y-, z-Komponenten für Tram auf Gleis 1 und 2;
Zeitfenster Tram bei Weiche, bzw. bei Schienenstoss

Mittlere Terzbandspektren Detailanalyse der vier Messungen



Energetische Mittelungsspektren der vier Messungen der Messpunkte MP1-MP4 in den
Zimmern EG und OG, z-Komponente für Tram auf Gleis 1 und 2;
Zeitfenster Tram bei Weiche, bzw. bei Schienenstoss

Mittlere Terzbandspektren Detailanalyse der vier Messungen



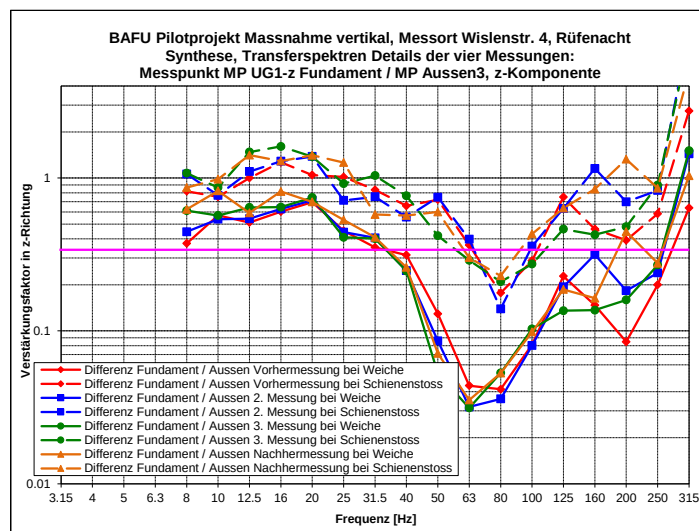
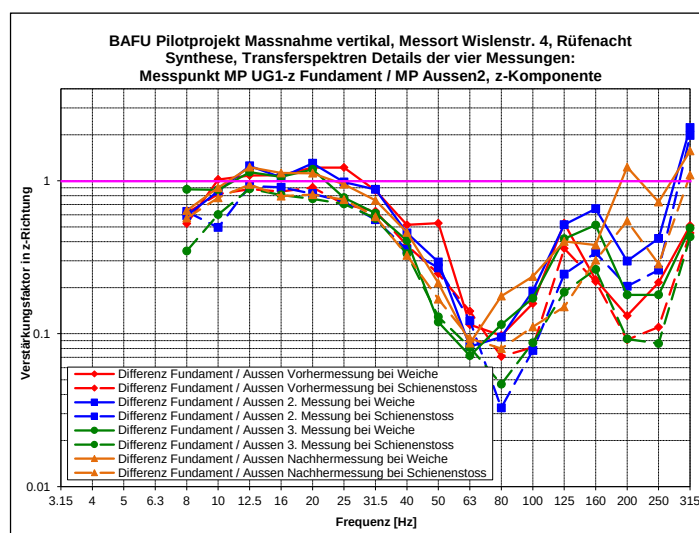
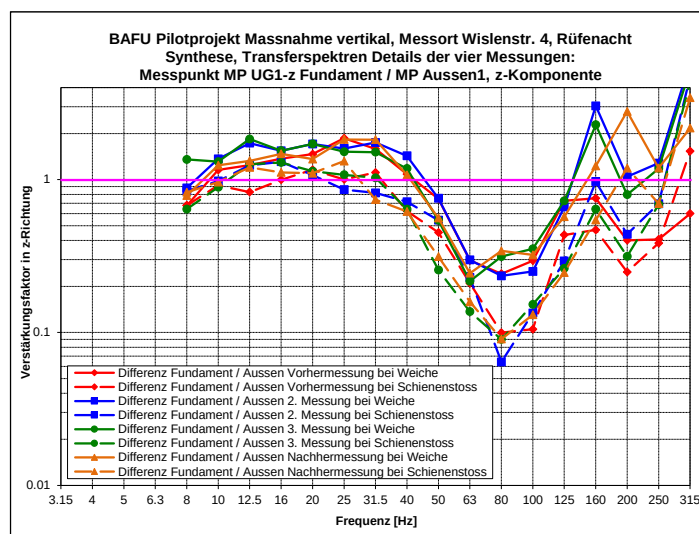
Energetische Mittelungsspektren der vier Messungen der Messpunkte MP5-MP6 in den Zimmern OG und MP7-MP8 vor und hinter der Massnahme (nur Nachhermessung), z-Komponente für Tram auf Gleis 1 und 2; Zeitfenster Tram bei Weiche, bzw. bei Schienenstoss

Beilage 19:

Differenzen Terzbandspektren Erschütterungen Detailanalyse zwischen Aussen- und Fundamentmesspunkten

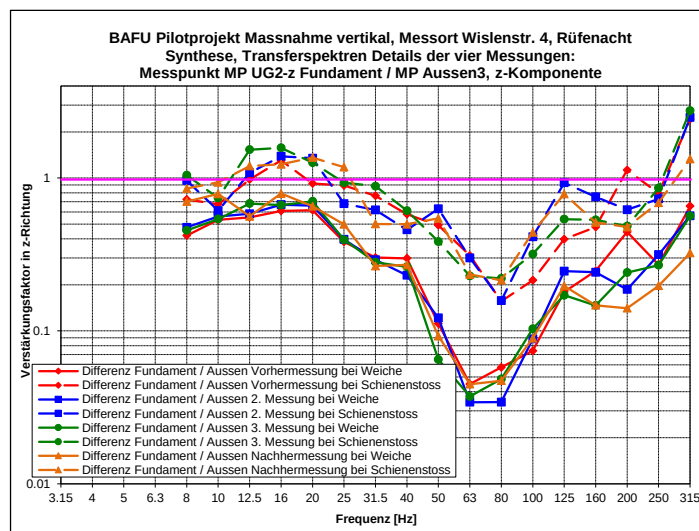
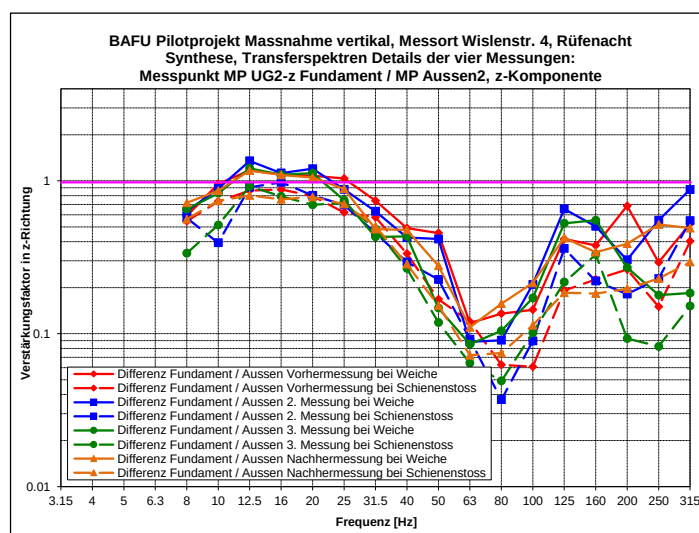
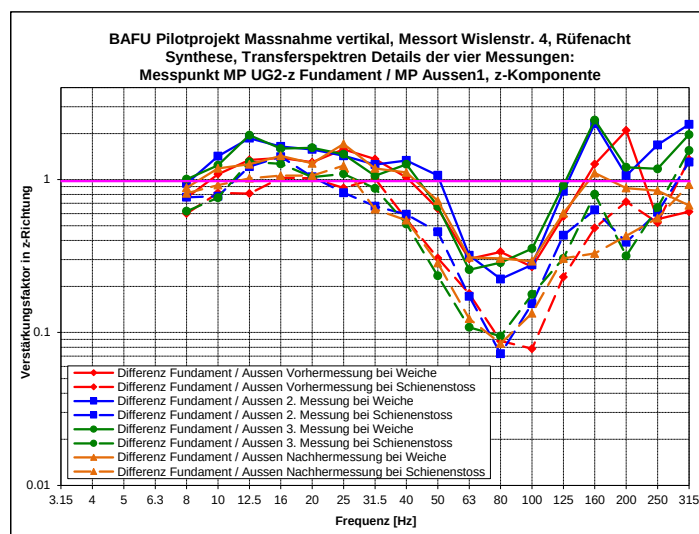
(Total 3 Seiten)

Detailanalyse Transferspektren Aussen- zu Fund.messpunkten



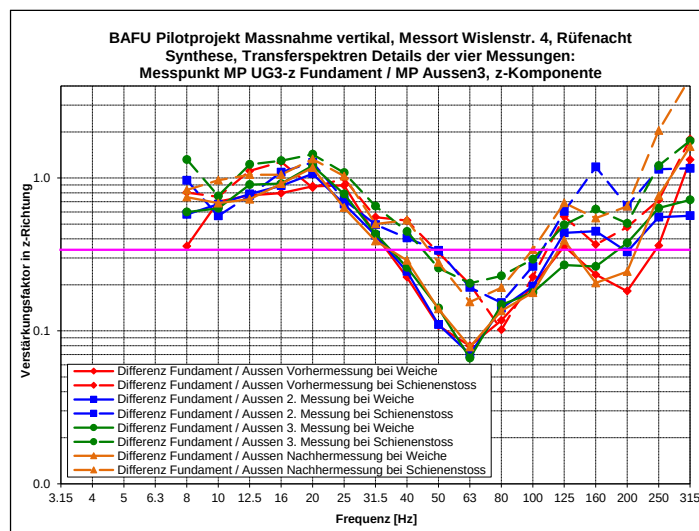
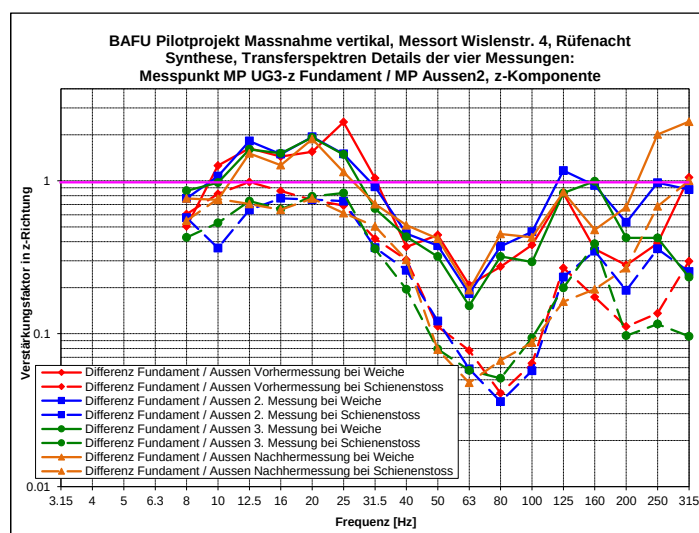
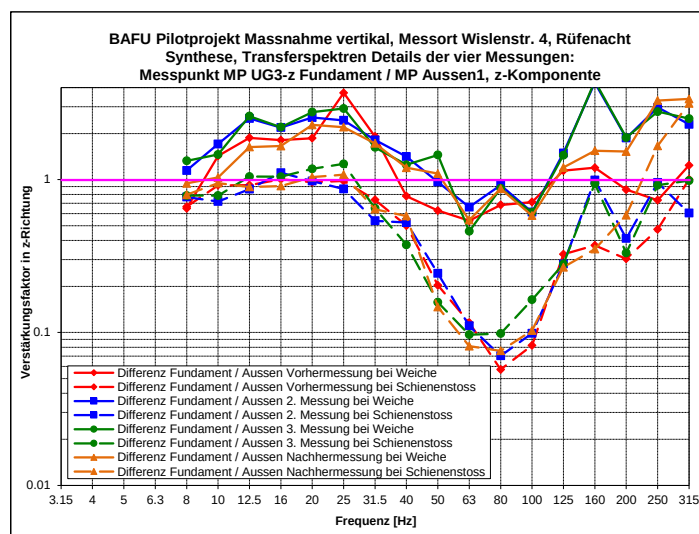
Geom. Mittel der Transferspektren der vier Messungen, z-Komponente
Messpunkt Fundament UG 1 zu Aussen 1-3 für Tram auf Gleis 1 und 2;
Zeitfenster Tram bei Weiche, bzw. bei Schienenstoss

Detailanalyse Transferspektren Aussen- zu Fund.messpunkten



Geom. Mittel der Transferspektren der vier Messungen, z-Komponente
Messpunkt Fundament UG 2 zu Aussen 1-3 für Tram auf Gleis 1 und 2;
Zeitfenster Tram bei Weiche, bzw. bei Schienenstoss

Detailanalyse Transferspektren Aussen- zu Fund.messpunkten



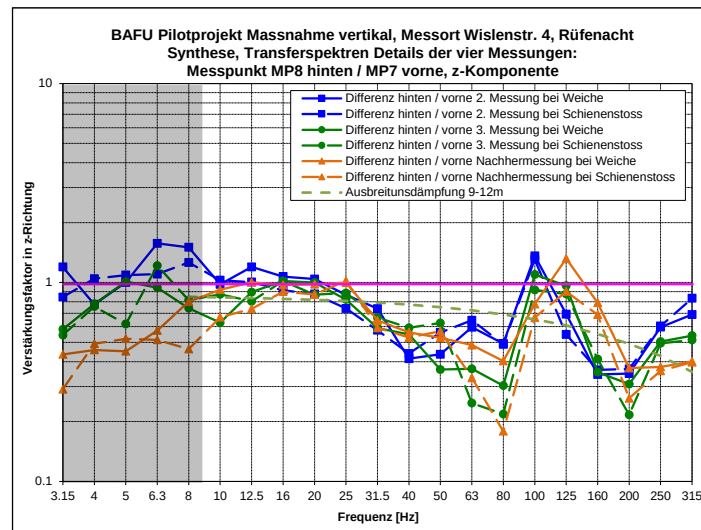
Geom. Mittel der Transferspektren der vier Messungen, z-Komponente
Messpunkt Fundament UG 3 zu Aussen 1-3 für Tram auf Gleis 1 und 2;
Zeitfenster Tram bei Weiche, bzw. bei Schienenstoss

Beilage 20:

Differenzen Terzbandspektren Erschütterungen Detailanalyse zwischen Messpunkten vor und hinter der Massnahme

(Total 1 Seite)

Detailanalyse Transferspektren von vor nach hinter der Massnahme



Geom. Mittel der Transferspektren der vier Messungen, z-Komponente
Messpunkt 'hinten der Massnahme' zu 'vor der Massnahme' für Tram auf Gleis 1 und 2;
Zeitfenster Tram bei Weiche, bzw. bei Schienenstoss

Beilage 21:

Kurzbeschreibung Messgeräte

(Total 2 Seiten)

Messeinrichtung für Erschütterungsmessungen

Erschütterungsmessung

System MEDA RedSens (drahtloses Übertragungssystem):

- Schwingungsmesser 8x Beschleunigungsaufnehmer PCB 625 B02
Empfindlichkeit 500 mV/g
Frequenzbereich 0.5 Hz bis 2 kHz
Messbereich +/- 10g
- Datenträger Laptop mit Software MEDA zur direkten Signalaufzeichnung auf Harddisk, 9-kanalig für Schwingungs- und Schallmessungen verwendete Aufnahmebandbreite 1 - 400 Hz, Aufnahmezeitfenster 30 s
- Signalauswertung MEDA (von Wölfel Meßsysteme • Software GmbH, Höchberg, Deutschland)
umfassende Software mit verschiedenen Zusatzprogrammen zur digitalen Signalauswertung von Schall- und Schwingungsmessungen auf Laptop oder PC
angewendete Zeitfenster für Tramvorbeifahrten 16.0 s

Vibration Monitoring System MENHIR, bestehend aus:

- elektronisches Erfassungsgerät mit dreikanaligem internem Sensor zur Messung der drei Schwingungsrichtungen X (horizontal, Kanal 1), Y (horizontal, Kanal 2) und Z (vertikal, Kanal 3) und auch mit drei zusätzlichen externen Einzelsensoren:
- Sensoren mit schwingungsgeschwindigkeits-proportionalen Messspulen, zur Erfassung der Schwingungsgeschwindigkeit 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.

Schallmessung

Norsonic Nor150 (Umweltanalysatoren mit parallelen A-, C- und Flat-Netzwerken und den Zeitkonstanten F,S,I)

- 1 oder 2 Mikrophone Klasse 1
- Akustischer Kalibrator B&K 4230
- Abspeicherung von Leq, Spitzenpegel, Lmax und Lmin in Zeitintervallen 100 ms bis mehrere Sekunden, Abspeicherung des Spektrums (i.d.R. 1“-Leq)
- Aufzeichnung von Audiosignalen (manuell oder mittels Triggerung)
- Datenträger: Interner Harddisk (> 4 GB)
- Signalauswertung mit Softwarepaket Norsonic NorReview für die Nachverarbeitung und die Präsentation von Lärmmessdaten

Beilage 22:

Grundlagen / Theorie:

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

(Total 2 Seiten)

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:

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

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

