

MOBILITÄT MIT WEITBLICK



GOLDSCHMIDT

Smart Rail Solutions

www.goldschmidt.com

REVIEWED

Langzeitverhalten des Masse-Feder-Systems zum Schutz des Wiener Musikvereinsgebäudes gegen Schall- und Erschütterungs-immissionen des U-Bahnbetriebs

Long-term Behavior of Mass-spring System Designed to Protect the Building of the Vienna Musikverein Against Noise and Vibration of an Underground Railway Line

Dipl.-Ing. Wolfgang Steinhauser, Univ.-Prof. i.R. Dr. Peter Steinhauser, Wien (Österreich),
Dipl.-Ing. Markus Heim, Bürs (Österreich)

Zusammenfassung

Bei der Verlängerung der U-Bahn-Linie U2 wurde vom Wiener Musikverein gefordert, dass jede wahrnehmbare Veränderung der Immissionssituation in den Konzertsälen durch den U-Bahnverkehr vermieden werden muss. Deshalb wurde im Bereich der U-Bahnverlängerung ein Masse-Feder-System (MFS) eingebaut, welches auf Einzellager aus Sylodyn®¹⁾ der Firma Getzner Werkstoffe gelagert ist und auf eine außergewöhnlich tiefe vertikale Eigenfrequenz von 5,5 Hz abgestimmt wurde. Abnahmemessungen nach der Inbetriebnahme 2002 bestätigten die Erfüllung der vom Wiener Musikverein gestellten sehr hohen Anforderung. Nach 17 Betriebsjahren mit etwa 450 Mio. Lasttonnen Gesamtbelastung wurde die Wirksamkeit des MFS durch Kontrollmessungen überprüft. Sowohl die Eigenfrequenz des MFS als auch die Erschütterungs- und Sekundärschallimmissionen im Musikvereinsgebäude haben sich nach 17 Betriebsjahren nicht verändert. Die Untersuchungen bestätigen die uneingeschränkte Wirksamkeit des MFS gemäß den Anforderungen der Spezifikation.

Abstract

In order to get approval for construction of a new underground railway next to the building of the Wiener Musikverein, measures had to be taken to ensure that noise and vibration levels within the concert halls will not increase. To fulfill these challenging requirements a mass-spring system (MSS), equipped with point bearings made out of Sylodyn®¹⁾ and a vertical natural frequency of 5.5 Hz, was installed. Measurements for acceptance and approval after start of service in 2002 showed, that the MSS performed as designed. After 17 years of revenue service and more than 450 million gross tons of traffic the performance of the MSS was rechecked. The natural frequency of the MSS as well as the noise and vibration within the concert halls, caused by the underground traffic have not changed. The results confirm that the MSS is still working according to all requirements of the specification.

1 Ausgangslage

Der Wiener Musikverein ist eines der traditionsreichsten Konzerthäuser der Welt und ein nationales Kulturgut ersten Ranges (Bild 1). Der darin befindliche berühmte Große Saal (oft auch als

„goldener Saal“ bezeichnet) gilt als einer der schönsten und akustisch besten Säle der Welt.

Vor 20 Jahren wurde mit der Planung für die Verlängerung der U-Bahn-Linie U2 unmittelbar vor dem Musikvereinsgebäude in Richtung Schwarzenbergplatz begon-

nen. Dabei musste sichergestellt werden, dass störende Immissionen durch Schall und Erschütterungen im Musikvereinsgebäude durch die U-Bahn-Vorbeifahrten ausgeschlossen werden können.

¹⁾ Sylodyn ist ein geschlossenzelliges Elastomer für den Schwingungsschutz

Dazu mussten im Rahmen der Planungen zahlreiche schalltechnische Untersuchungen, wie die Ausbreitung von Schall und Erschütterungen im Musikvereinsgebäude, das Schwingungsverhalten des Gebäudes bzw. des Untergrunds, durchgeführt werden. Auch die Bestimmung der Grundgeräuschpegel in den verschiedenen Sälen des Musikvereins mit und ohne Publikum war erforderlich, um quantitative Grenzwertkriterien für die weitere Planung der Erschütterungsmaßnahme festzulegen. Die geplante, wesentlich längere zweigleisige Wendeanlage der U-Bahn-Linie U2, sowie ein anschließendes eingleisiges Schadzuggleis, mussten bei sehr beengten Platzverhältnissen ausgeführt werden (Bild 2). Das gegenüber dem Musikvereinsgebäude parallel verlaufende Wienfluss-Gewölbe führte dazu, dass der U-Bahntunnel in lediglich 4 m Seitabstand zum Musikvereinsgebäude geführt werden musste [1]. Bild 3 zeigt einen Querschnitt des U-Bahntunnels in Beton-Rechteckbauweise zwischen der bestehenden Widerlagermauer der Wienfluss-Einwölbung und dem Kellergeschoss des Musikvereinsgebäudes. Die Wendeanlage vor dem Musikvereinsgebäude sollte mit Zuggeschwindigkeiten von maximal 40 km/h befahren werden können. Die auf Basis der VibroScan-Schwingungsanregung im Tunnel-Rohbau [2] erstellten Immissionsprognosen für einen ungedämmten Regel-Schotteroberbau sagten Überschreitungen der Grenzkurve um bis zu 33 dB vorher. Es war daher ein sehr tief abgestimmtes MFS erforderlich. Bei der Frequenzwahl waren jedoch die verschiedenen in diesem Bereich gelegenen Eigenfrequenzen des tragenden Baugrunds sowie jene des Bauwerks und der wichtigsten Bauteile als Teil des schwingenden Systems gemäß Tabelle 1 zu beachten.

Um den erforderlichen Frequenzabstand (Faktor $\sqrt{2}$) zu diesen Frequenzen einzuhalten, wurde der Einbau eines MFS mit einer vertikalen Eigenfrequenz von 5,5 Hz empfohlen.

MFS sind bekanntlich umso aufwendiger zu bauen, je tiefer ihre Eigenfrequenz ist. Das 5,5-Hz-MFS beim Musikverein war daher bei seiner Errichtung das frequenzmäßig am tiefsten abgestimmte in Österreich, es hält diesen Spitzenplatz immer noch. Als weitere innovative Leistung ist auch die Entscheidung des Bauherrn zu bewerten, den kostengünstigeren Elastom-



Bild 1: Gebäude des Wiener Musikvereins



Bild 2: Situationsplan U-Bahnverlängerung U2 Richtung Schwarzenbergplatz

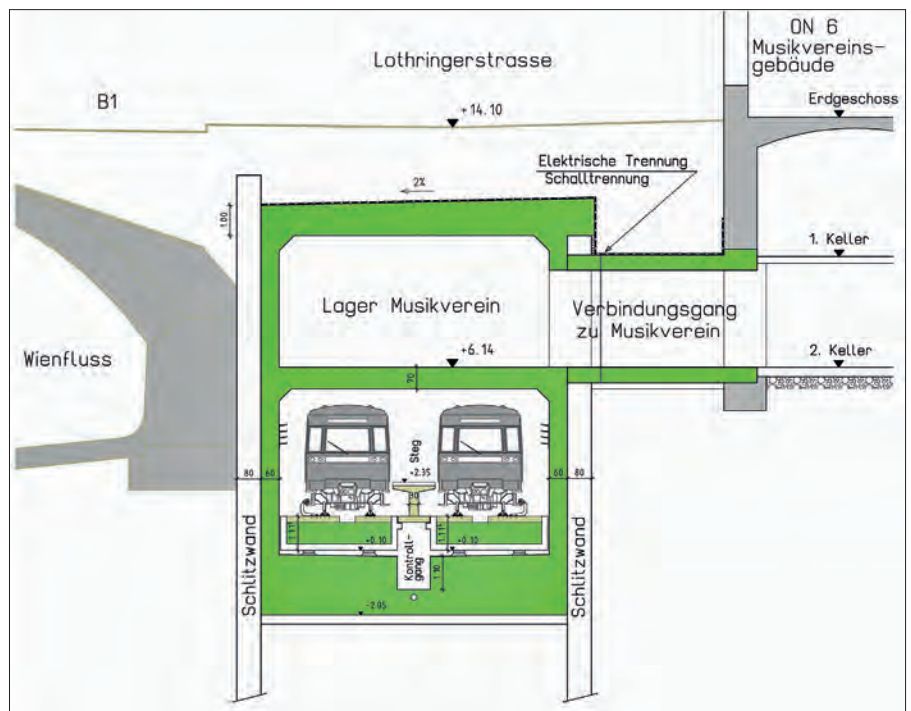


Bild 3: Querschnitt Wienfluss-Gewölbe, U-Bahntunnel, Wiener Musikvereinsgebäude

Systemteil	tiefste Eigenfrequenzen in Hz
Bauwerk	8,0; 9,7
Decke Großer Saal	8,6
Decke Balkon Großer Saal	9
Baugrund S-Wellen	3
Baugrund P-Wellen	7,8

Tabelle 1: Niedrige Eigenfrequenzen von Bauwerk, Bauteilen und Baugrund

merlagern, deren Langzeitverhalten zum Zeitpunkt der Ausführung unbekannt war, anstelle der im niederfrequenten Bereich konventionellen Stahlfeder-Lager den Vorzug zu geben.

In der Planungsphase kam ein kombiniertes Rechenmodell zur Bestimmung der Einfügungsdämmung zur Anwendung, welches das Modell nach Wettschureck/Kurze [3] mit einem analytischen Modell zur Berücksichtigung der Bodendynamik [4] verbindet. Die Ergebnisse der Berechnungen sind in *Bild 4* dargestellt. Das Verfahren von Wettschureck und Kurze baut auf dem Punktimpedanzmodell auf, welches das Schwingungsverhalten dünner Schichten wie eine Elastomermatte gut erfasst. Die Abschlussimpedanz der Unterlage kann vernachlässigt werden, wenn sie groß im Vergleich zur Quellimpedanz ist. Wenn aber die schwingende Struktur keine dünne Schicht darstellt, deren Eigenschwingverhalten vernach-

lässigt werden kann, sondern wie die Tunnelsohle oder die Untergrundstrukturen entsprechende Schichtdicken besitzen, dann müssen ihre Eigenfrequenzen und ihr Schwingverhalten ebenfalls berücksichtigt werden. Dazu eignet sich ein auf dem Ansatz von Roeset aufbauendes analytisches Modell [4]. Die Eigenfrequenzspektren und damit das Schwingungsverhalten von Tunnelsohle und Untergrundstrukturen sind auf Basis seismischer In-situ-Messungen ermittelt worden. Die Modellrechnungen zeigen, dass beim Musikverein die Dämmwirkung insgesamt im 30-dB-Bereich bleibt, aber im 40 bis 50-Hz-Band durch den Untergrundeinfluss signifikant reduziert wird. Die Höhe der Gleistragplatte beträgt 110 cm, was zu einer Trogmasse von 10 t/lfm führt. Die Gleistragplatte ist auf elastischen Sylodyn-Einzellagern der Firma Getzner Werkstoffe im Längsabstand von jeweils 2 m gelagert. Bei

der Ausführung des MFS mit einer Länge von 97 m handelt es sich um das MFS mit der tiefsten vertikalen Eigenfrequenz, welches bislang mit Elastomer-Lagern realisiert wurde. *Bild 5* zeigt den projektieren MFS-Querschnitt. Die Schienenstützpunkte im Bereich des MFS sind zudem mit elastischen Zwischenplatten der Firma Getzner Werkstoffe ausgestattet. Die Inbetriebnahme der U-Bahnverlängerung erfolgte im Jahr 2002. Nach einer mehrmonatigen Einfahrperiode wurden die durch Fahrten eines U-Bahn-Zuges verursachten sekundären Luftschallpegel und Erschütterungen in den Musiksälen des Wiener Musikvereins gemessen, sowie verschiedenste Erschütterungsmessungen im U-Bahntunnel durchgeführt (Abnahmemessungen 2003 [5]). Seither wurde das MFS der Wendeanlage mit bis zu 250 Zügen je Gleis täglich befahren, wodurch in 17 Betriebsjahren von einer Gesamtbelastung von etwa 450 Mio. Lasttonnen (Summe der Radsatzlasten) ausgegangen werden kann. Zudem wird die Wendeanlage auch als Abstellbereich für Schadzüge verwendet, sodass neben der Trogmasse auch Zuglasten über längere Zeiträume auf die Sylodyn-Lager einwirken. Der Hersteller der Elastomer-Lager zeigte großes Interesse an Untersuchungen, ob die Wirksamkeit des MFS nach knapp 2 Jahrzehnten weiterhin gegeben ist bzw. ob etwaige Alterungseffekte der Elastomer-Lager feststellbar sind. Deshalb wurden im Sommer 2019, 17 Jahre nach der Inbetriebnahme der U-Bahnverlängerung, Kontrollmessungen zur Bestimmung der Wirksamkeit der elastischen Lagerung der Gleistragplatte durchgeführt, um zu untersuchen, ob die damals gestellten Anforderung „keine wahrnehmbare Veränderung der Immissions-situation durch den U-Bahnbetrieb“ noch eingehalten wird.

Ab 1987 wurde bei den Wiener Linien der Wagentyp U11 eingesetzt, ab 2006 kam zusätzlich sein Nachfolger Typ V hinzu. Umgangssprachlich werden alle Wagentypen der U-Serie als „Silberpfeil“, der Wagentyp V wiederum als V-Wagen bezeichnet. Die neue Fahrzeuggeneration Typ V umfasst neben einer größeren Fahrgastkapazität umfangreiche Weiterentwicklungen in den Bereichen Antriebs-, Brems- und Sicherheitssysteme, aber auch Neuerungen wie Klimaanlage, Videoüberwachung, Überbrückung des Bahnsteigspalts und vieles mehr. Aus

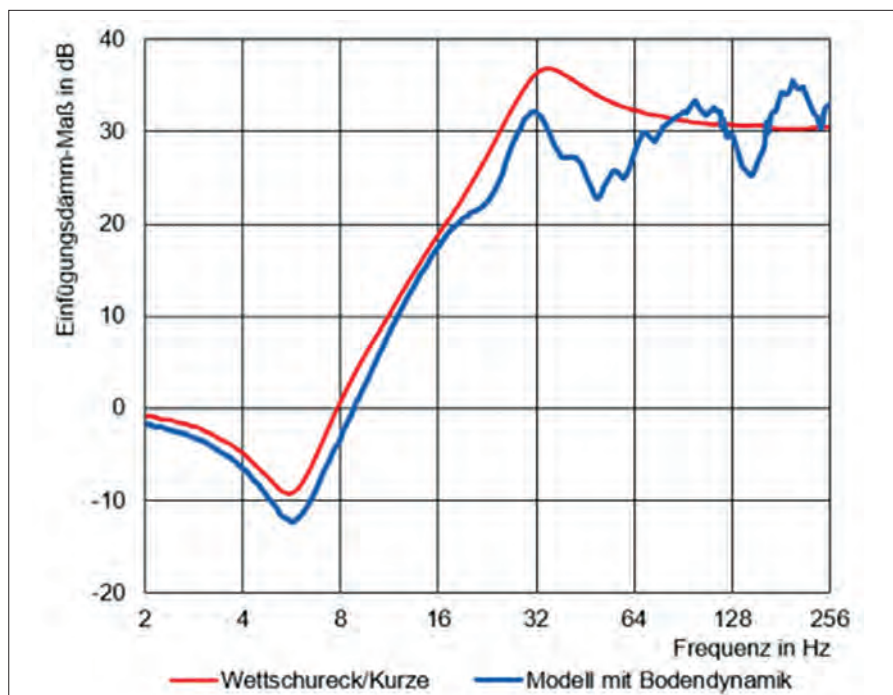


Bild 4: Rechnerische Einfügungsdämmung des 5,5-Hz-MFS beim Wiener Musikvereinsgebäude, rote Kurve: mit Modell nach Wettschureck/Kurze mit Abschlussimpedanz, blaue Kurve: mit analytischem Untergrundmodell mit Bodendynamik



Your mobility marketplace.

Stay on track.

MoBase ist mehr als ein Shop.

MoBase ist Ihre Home Base für professionelle Bahnprodukte und -lösungen. Ob Schienenverkehr, Automatisierung, Digitalisierung oder Elektrifizierung: Mit einer konkurrenzlos großen Auswahl, kurzen Lieferzeiten und effizienten Prozessen geben wir den Takt an. Für alle, die die Welt jeden Tag eine Spur mobiler machen.

Get on board!

myMoBase.com



Fahrgeschwindigkeiten durchgeführten Zugvorbeifahrten die resultierenden maximalen Schwinggeschwindigkeiten der drei Messebenen Gleistragplatte, Tunnelsohle und Tunnelwand. Auf der Gleistragplatte sind die Emissionen der beiden Zugtypen U11 und V etwa in der gleichen Größenordnung, auf der Tunnelsohle und an der Tunnelwand bewirkt der Zugtyp V hingegen merklich größere Emissionen. Die Frequenzspektren in Bild 9 zeigen, dass die beiden Zugtypen die Gleistragplatte unterschiedlich anregen. Während beim Zugtyp U11 die maximale Anregung der Gleistragplatte breitbandig bei Frequenzen von ca. 15 Hz erfolgt, ist beim Zugtyp V zusätzlich eine starke Anregung in der MFS-Eigenfrequenz bei ca. 5,3 Hz feststellbar. Da die Isolierwirkung des MFS dem Modell des Einmassenschwingers entsprechend erst ab ca. 7,5 Hz einsetzt ($\sqrt{2} \cdot 5,3 \text{ Hz}$), kann die im Vergleich zum Zugtyp V bessere Isolierwirkung des MFS bei Zugsüberfahrten mit dem Zugtyp U11 durch die fehlende Anregung im Eigenfrequenzbereich des MFS erklärt werden.

Die Ursache dieser unterschiedlichen Emissionswirkung ist offensichtlich auf fahrzeugspezifische Unterschiede zurückzuführen, die noch gesondert zu untersuchen wären, die aber für das hier thematisierte Langzeitverhalten des Masse-Feder-Systems keine Bedeutung haben.

5 Einsenkung des MFS

Am unmittelbar neben dem Musikverein liegenden Gleis 2 wurden die bei Zugüberfahrt hervorgerufenen vertikalen Einsenkungen der Gleistragplatte gegenüber dem Tunnelboden gemessen. Die maximale Einsenkung des MFS beträgt für beide Zugtypen ca. 1,6 bis 1,7 mm, wobei zwischen den Testfahrten mit Zugtyp U11 und Zugtyp V eine Verschiebung um ca. 0,13 mm erkennbar ist (Bild 10). Die Ursache für diesen Unterschied dürfte die unterschiedliche Versuchsanordnung sein. Bei den Testfahrten des Typs U11 auf Gleis 2 war der Zugtyp V daneben auf Gleis 1 abgestellt, bei den Versuchsfahrten des Typ V war das Gleis 1 im Bereich des MFS leer und damit unbelastet. Beide als MFS ausgeführte Gleistragplatten (Gleis 1 und Gleis 2) sind nicht vollkommen voneinander getrennt, siehe Ausführungspläne in Bild 11. Vor dem Musikverinsgebäude verlaufen beide MFS (Gleis 1



Bild 7: MFS im Bereich der Wendeanlage, links der neuere Zugtyp V, rechts der ältere Zugtyp U11

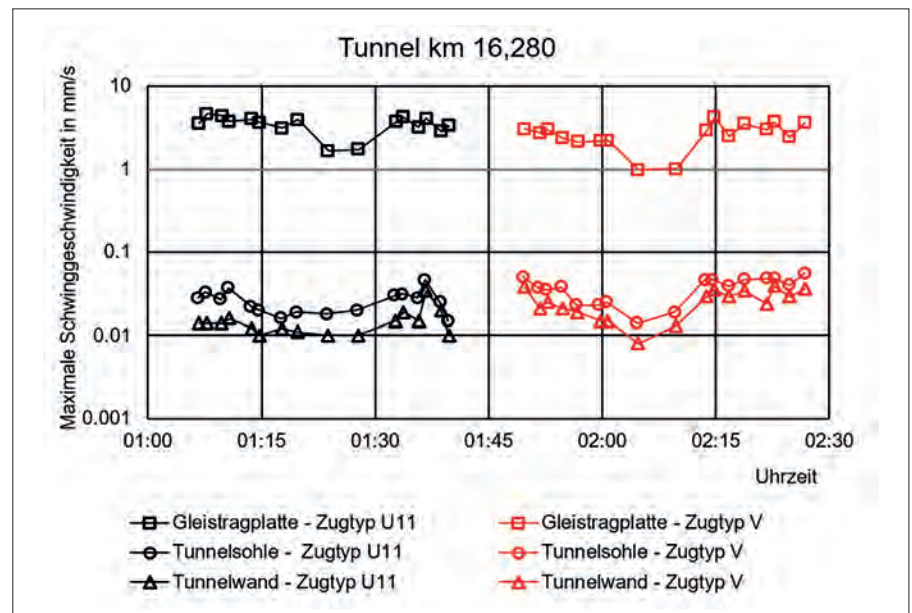


Bild 8: Maximale resultierende Schwinggeschwindigkeiten der Testfahrten (Gleis 2)

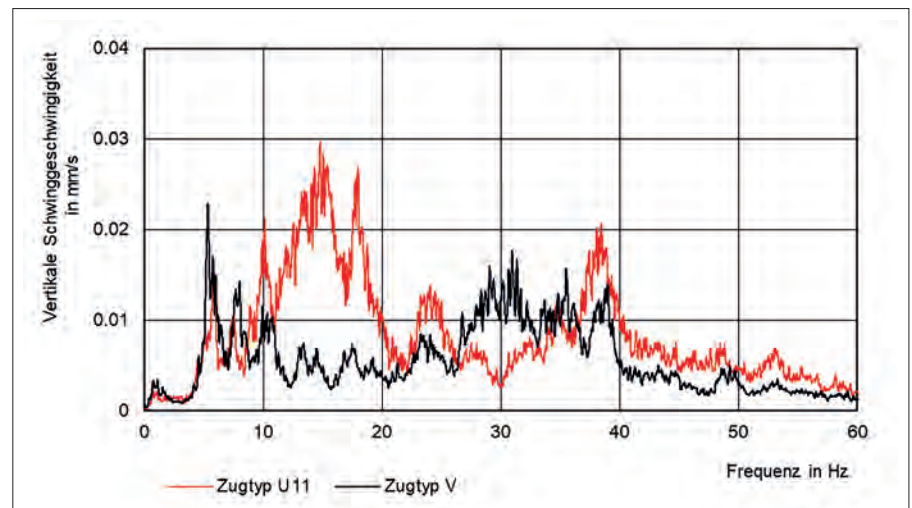


Bild 9: Vertikale Schwinggeschwindigkeit der Gleistragplatte, gemittelt über die Testfahrten mit Geschwindigkeiten von 15 bis 40 km/h

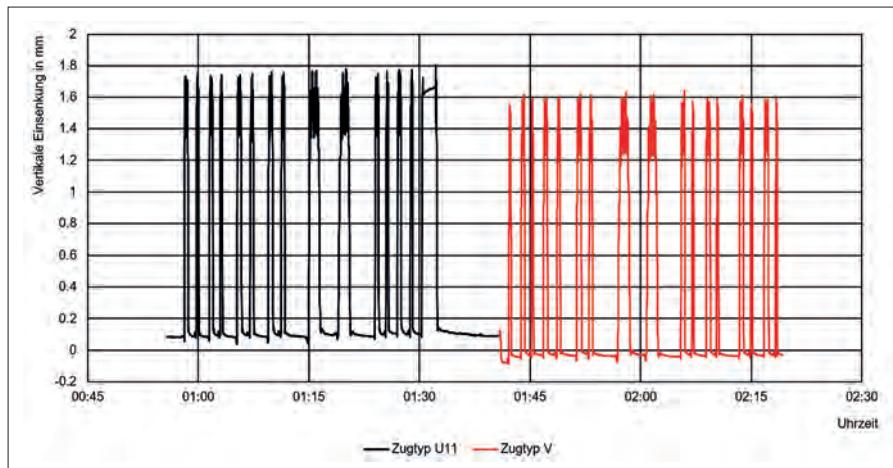


Bild 10: Vertikale Einsenkungen aller Testfahrten

und Gleis 2) einschließlich der Gleistragplatten (grün) vollständig getrennt, nach dem Musikvereinsgebäude (Höhe Canovagasse) schwenken beide Gleise in Richtung einer Weiche einander zu. In diesem Bereich sind zwar die zwei Tröge der MFS noch getrennt, jedoch über eine 7 m lange durchgehende gemeinsame Gleistragplatte (siehe gelbe Fläche im Grundriss) miteinander starr verbunden.

6 Sekundärschallimmissionen im Musikvereinsgebäude

Das wichtigste Beurteilungskriterium eines installierten MFS ist, ob die projektierte Dämmwirkung eingehalten wird. Dazu

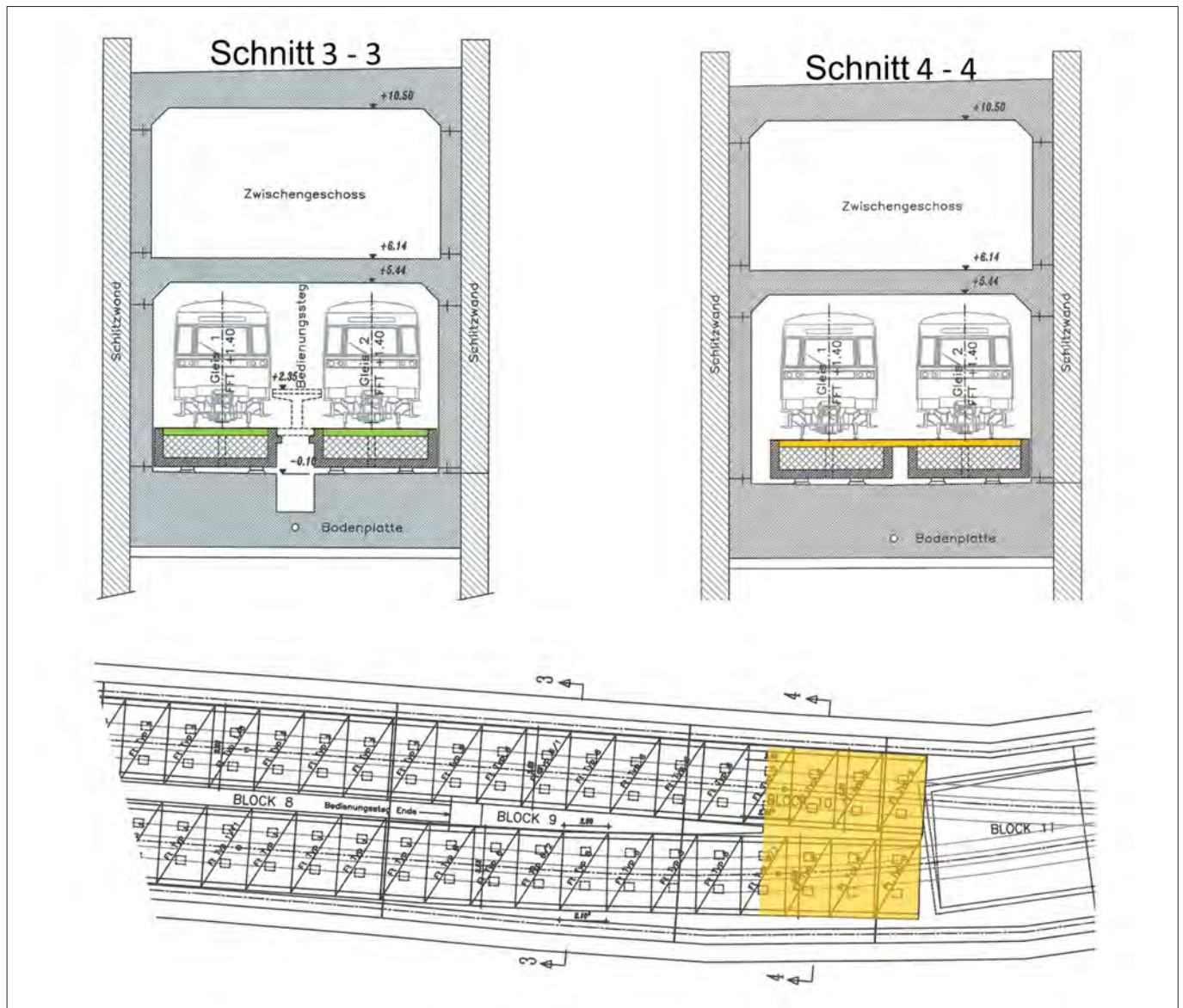
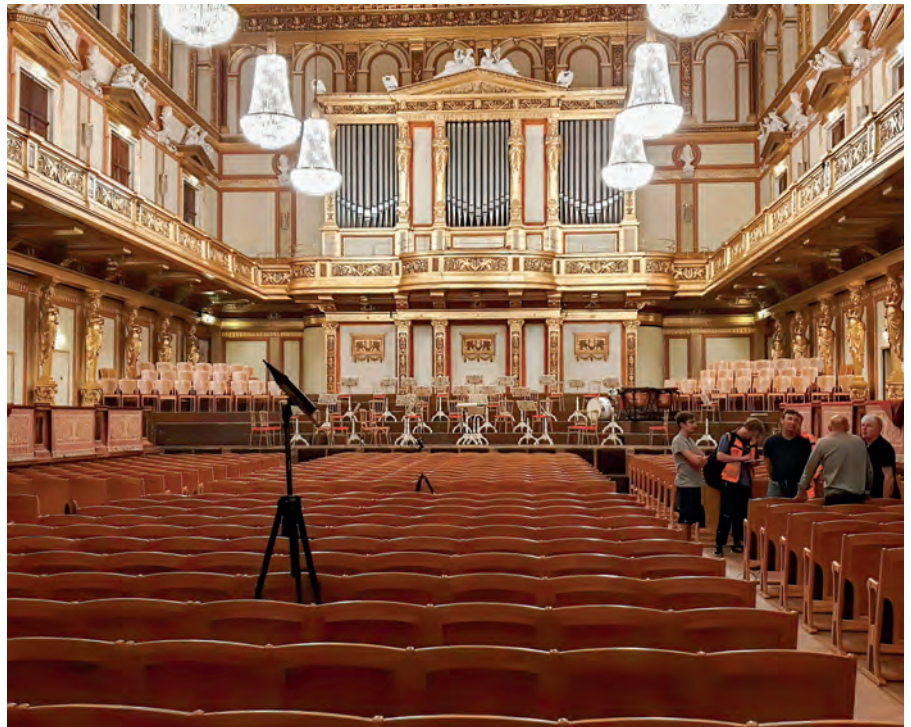


Bild 11: Detailausführung des MFS (Plangrundlage ISP), oben links: Schnitt 3-3 mit Regelausführung, beide MFS-Tröge getrennt, oben rechts: Schnitt 4-4, beide MFS-Tröge durch gemeinsame Gleistragplatte gekoppelt (gelb dargestellt), unten: Lageplan mit Schnitt 3-3 (vor dem Musikverein) und Schnitt 4-4 (Ausfahrtsgleis, gelb dargestellt die gemeinsame Gleistragplatte)

wurden Schallimmissionsuntersuchungen in den Konzertsälen des Musikvereins während der Testfahrten durchgeführt. Der sekundäre Luftschall darf den Grundgeräuschpegel bzw. die in der Planungsphase von Frau Prof. Lang für die Konzertsäle des Musikvereins ermittelten Grenzkurven [7] nicht überschreiten. Die Kontrollmessungen der Immissionen erfolgten im Großen Saal und im Brahms-Saal anstelle des bei den Abnahmemessungen 2003 untersuchten Einem-Saal. Letzterer Saal ist in der Zwischenzeit wegen zu starker Straßenverkehrsstörungen in einen Pausensaal umgebaut worden. Die Messungen der Sekundärschallimmissionen erfolgten in beiden Sälen jeweils in Raummitte und in einer Höhe von ca. 2,5 m (Bild 12). Die Ergebnisse vom Großen Saal sind in Bild 13 zusammengefasst. Die grüne Linie zeigt den Schalldruckpegel während der Kontrollmessungen 2019, als blaue Linie sind der Schalldruckpegel während der Abnahmemessungen 2003 und als rote Linie die einzuhaltende Grenzkurve dargestellt. Wäre statt des MFS ein Regel-Schotteroberbau eingesetzt worden, so hätten sich weit stärkere Schallimmissionen in den Konzertsälen ergeben (violette Linie, Immissionsprognose 2001). Der Vergleich zwischen der gemessenen Sekundärschallimmission während der Kontrollmessungen 2019 und den Abnahmemessungen 2003 zeigt, dass sich die Sekundärschallimmissionen nach 17 Betriebsjahren der U-Bahnverlängerung praktisch

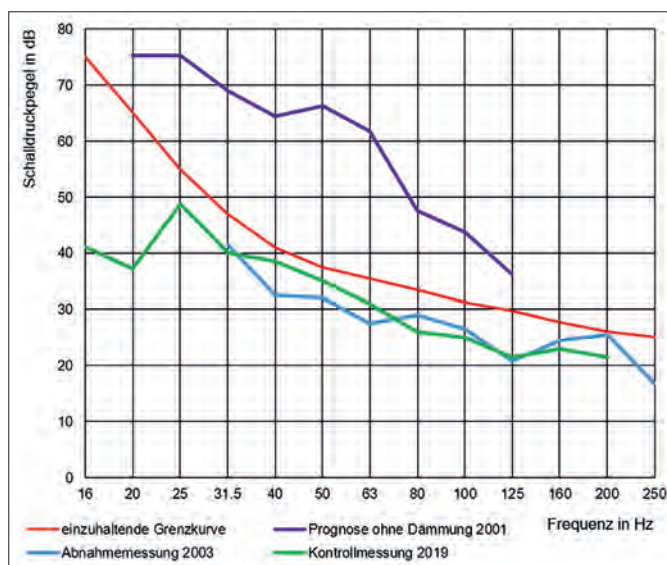


■ Bild 12: Großer Saal („goldener Saal“), Messungen der Schallimmissionen

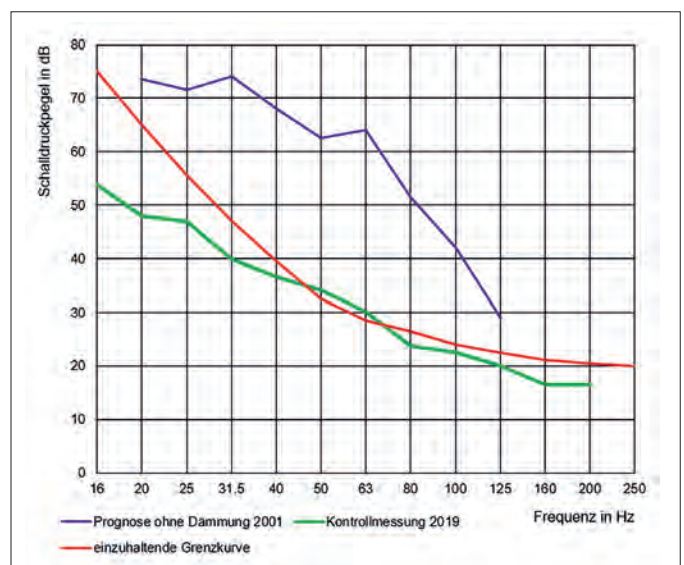
nicht verändert haben (Bild 13). In analoger Weise sind in Bild 14 die Sekundärschallimmissionen im Brahms-Saal dargestellt. Während der Abnahmemessung 2003 wurden in diesem Saal keine Schallmessungen durchgeführt. Die Messergebnisse – sowohl im Großen Saal als auch im Brahms-Saal – zeigen, dass das Kriterium „keine wahrnehmbare Änderung der Immissionssituation durch den U-Bahnverkehr“ ausgezeichnet erfüllt wird.

7 Erschütterungsimmissionen im Musikvereinsgebäude

Bezüglich der Erschütterungen bietet sich als Beurteilungskriterium die Fühlschwelle an. Sie ist mit der W_m -bewerteten Beschleunigung $a_{Wm} = 3,57 \text{ mm/s}^2$ nach ISO 2631-2 oder gleichwertig durch die früher angewandte bewertete Schwingstärke $K_{B,R,Max} = 0,1$ nach ÖN S 9010 festgelegt. Werden diese Werte



■ Bild 13: Sekundärschallimmissionen im Großen Saal



■ Bild 14: Sekundärschallimmissionen im Brahms-Saal

Messung	Bewertete Schwingstärke $K_{B,R,max}$ (ÖN S 9010)	Maximale W_m -bewertete Beschleunigung (ISO 2631-2)
Abnahmemessung 2003	< 0,05	< 1,8 mm/s ²
Kontrollmessung 2019	< 0,05	< 1,8 mm/s ²

I Tabelle 2: Vergleich der Erschütterungsimmissionen im Großen Saal des Musikvereins, Abnahmemessungen 2003, Kontrollmessungen 2019

nicht überschritten, so ist mit keiner Wahrnehmung der Erschütterungen zu rechnen. Die Erschütterungsimmissionen wurden ebenso wie bei den Abnahmemessungen 2003 im Großen Saal in Deckenmitte gemessen. Die durch die Testfahrten hervorgerufenen Erschütterungssignale waren sehr schwach und es konnte nur ein Teil der durchgeführten Testfahrten als Zugüberfahrt identifiziert werden. Die Erschütterungsimmissionen im Musikvereinsgebäude haben sich nach 17 Betriebsjahren nicht verändert, es treten im großen Saal keine vom U-Bahnverkehr hervorgerufene fühlbare Erschütterungen auf und das Erschütterungskriterium wird nach wie vor eingehalten (Tabelle 2). Das Ergebnis der Erschütterungsimmissionen 2019 ist besonders erfreulich, da der neuere im Wiener U-Bahnnetz eingesetzte Zugtyp V die Gleistragplatte im Bereich der MFS-Eigenfrequenz stärker anregt als der Zugtyp U11 und das Beurteilungskriterium dennoch eingehalten werden kann.

8 Schlussfolgerungen

Das Ergebnis der Kontrollmessungen zur Überprüfung der Wirksamkeit des MFS beim Wiener Musikvereinsgebäude nach 17 Betriebsjahren der U-Bahnver-

längerung, kann wie folgt zusammengefasst werden:

- Die vertikale Eigenfrequenz des MFS hat sich gegenüber den Abnahmemessungen 2003 nicht verändert, d.h. die dynamischen Eigenschaften des Syldyn-Lagers der Firma Getzner Werkstoffe sind somit konstant geblieben.
- Die Erschütterungsimmissionen in den Konzertsälen, hervorgerufen durch den U-Bahnverkehr, liegen unverändert weit unter der Fühlschwelle.
- Durch U-Bahn-Vorbeifahrten kommt es weiterhin zu keiner Erhöhung des Ruhepegels in den Konzertsälen des Wiener Musikvereins, die hervorgerufenen Sekundärschallimmissionen liegen unverändert weit unter den einzuhaltenden Grenzkurven.
- Der im Wiener U-Bahnnetz eingesetzte neue Zugtyp V regt die Gleistragplatte im Bereich der MFS-Eigenfrequenz stärker an als der ältere Zugtyp U11, dennoch werden sämtliche Beurteilungskriterien hinsichtlich der Immissionen weiterhin eingehalten, da, wie in der Planungsphase gezielt berücksichtigt, keine Bauteileigenfrequenzen in diesem Bereich liegen, weshalb es zu keiner hausinternen Verstärkung kommt.

Die in der Planung der U-Bahnverlängerung gestellte Anforderung „keine wahrnehmbare Veränderung der Immissions-situation durch den U-Bahnbetrieb“ wird nach 17 Betriebsjahren durch das MFS mit Syldyn-Lagern weiterhin in vollem Umfang erfüllt.

#659_A3_Rev

(Bildnachweis: 1, 2, 4, 5/Foto, 6 bis 10, 12 bis 14, Verfasser; 3, 5/Zeichnung und 11, ISP ZT GmbH)

Literatur

- [1] Steinhauser, P.; Lang, J.; Österreicher, M.; Berger, P.: Schutz des Wiener Musikvereinsgebäudes gegen Schall- und Erschütterungsimmissionen der U-Bahn. ETR Austria 1/05, 2005.
- [2] Steinhauser, P.: VibroScan Untersuchung auf der Tunnelsohle der Wendeanlage Karlsplatz U2/12. Bericht 995, 2002.
- [3] Wettschureck, R. G., Kurze, U. J.: Einfügungsdämm-Maß von Unterschottermatten. Acustica 58, 1985, S. 177–182.
- [4] Horn, N.; Steinhauser, P.; Vogelmann, A.: Zur Auswirkung der Geodynamik auf das Erschütterungs-Dämmverhalten von Unterschottermatten. Bauingenieur, Bd.82, 2007.
- [5] Österreicher, M.: Kontrollmessung im Musikverein zur Erlangung der Betriebsbewilligung U2/12 Abschnitt Wendeanlage Karlsplatz. Bericht IC-Konsulenten 13x30 15/01, 2003.
- [6] Steinhauser, W.; Steinhauser, P.: Nachmessung des Masse-Feder-Systems beim Wiener Musikverein nach 17 Jahren Betriebszeit. GZ. 0381-19/02, 2019.
- [7] Lang, J.: Gutachten über die Schallpegel im Gebäude des Musikvereins bei Körperschallanregung im Rohbau des Tunnels der U2. TGM-VAWS 10313, 2002.



Dipl.-Ing. Wolfgang Steinhauser (43). Studium der Kulturtechnik und Wasserwirtschaft an der Universität für Bodenkultur, Wien; Ingenieurkonsulent für Kulturtechnik und Wasserwirtschaft; Sprengbefugter für allgemeine Sprengarbeiten,

für Tiefbohrloch- und Großsprengungen sowie Unterwassersprengungen, Abriss- und Gebäudesprengungen; Zertifizierter Planungs- und Baustellenkoordinator. Berufliche Position: Firmengründer und Geschäftsführer Steinhauser Consulting Engineers ZT GmbH. Anschrift: Steinhauser Consulting Engineers ZT GmbH, Delugstraße 6, 1190 Wien, Österreich.

E-Mail: wolfgang.steinhauser@stce.at



Univ.-Prof. i.R. Dr. Peter Steinhauser (79). Studium der Geophysik und Meteorologie an der Universität Wien; Zivilingenieur für techn. Physik; Sprengbefugter; Lehraufträge an der Universität Wien und Montanuniversität Leoben;

gerichtlich beeideter Sachverständiger. Berufliche Position: Geschäftsführender Gesellschafter der Steinhauser Consulting Engineers ZT GmbH.

Anschrift: Steinhauser Consulting Engineers ZT GmbH, Delugstraße 6, 1190 Wien, Österreich.

E-Mail: peter.steinhauser@stce.at



Dipl.-Ing. Markus Heim (55). Studium der Technischen Physik an der Technischen Universität Wien bis 1990. Seit 1991 tätig bei der Getzner Werkstoffe GmbH, Abteilung Railway Division, Research & Development. Anschrift: Getzner Werkstoffe GmbH, Herrenau 5, 6706 Bürs, Österreich.

E-Mail: markus.heim@getzner.com