



© DB AG / Wolke Eisenbahn



© Erfurter Verkehrsunternehmen, Jacob Schuster



© Hitachi Rail

Standardisierter Datenaustausch in der Fahrzeuginstandhaltung

Standardized Data Exchange in Rolling Stock Maintenance

Consideration of lateral loads for the design of ballastless track systems

Berücksichtigung von lateralen Lasten bei der Bemessung von Feste Fahrbahn-Systemen

Nachweis der Langzeitwirkung eines Masse-Feder Systems in Grenoble

Proof of the Long-term Effect of a Mass-spring System in Grenoble

Neuelektrifizierung der Ahrtal-Strecke von Remagen bis Walporzheim

New Electrification of the Ahrtal Line from Remagen to Walporzheim

Evaluation der magnetischen Lokalisierung von Schienenfahrzeugen unter betriebsähnlichen Zuständen

Evaluation of Magnetic Localization for Railway Vehicles Under Near Operational Conditions

Experimentelle Validierung einer Knotenstruktur für den Wagenkasten des Hochgeschwindigkeitszuges AeroLiner3000

Experimental validation of a node structure for the car body of the AeroLiner3000 high-speed train

Gesellschaftliche Auswirkungen von Schienen-Reaktivierungen

Social impact of rail reactivations

Nachhaltigkeit auf Ressourcenebene bei einem Infrastrukturbetreiber

Sustainable Resource Management at the Example of an Infrastructure Operator

Nachweis der Langzeitwirkung eines Masse-Feder Systems in Grenoble

Proof of the Long-term Effect of a Mass-spring System in Grenoble

Dipl.-Ing. Markus Heim, Bürs (Österreich), Marc Beaumont M.Sc., Meylan (Frankreich),
Jeremy Rouyre B.Sc., Lyon (Frankreich), Dr. Harald Loy, Innsbruck (Österreich)

Zusammenfassung

Um Anwohner vor Sekundärschall und Erschütterungen durch den Straßenbahnverkehr zu schützen, setzen die Verkehrsbetriebe von Grenoble Masse-Feder Systeme (MFS) als erschütterungsreduzierende Maßnahme in ihren Oberbaukonstruktionen ein. Einige Streckenabschnitte werden bereits seit über 30 Jahren mit Sylomer®-Lösungen entkoppelt. Die Langzeit-Performance eines solchen Masse-Feder Systems auf der im Jahr 2004 in Betrieb genommenen Teilstrecke in der Avenue de Valmy in Grenoble wurde im Rahmen einer In-Situ Messkampagne genauer untersucht. Durch die Anwendung eines kombinierten Mess- und Prognoseverfahrens zur Beurteilung der Wirksamkeit des Masse-Feder Systems konnte die Einhaltung der vor nahezu 20 Jahren gestellten Anforderungen bestätigt werden.

Abstract

To protect residents from secondary noise and vibrations caused by streetcar traffic, Grenoble's transport operators use mass-spring systems (MSS) as a vibration-reducing measure in their railway superstructure. Some track sections have been decoupled with Sylomer® solutions for over 30 years. The long-term behaviour of such a mass-spring system on the section of the Avenue de Valmy in Grenoble that went into operation in 2004 was analysed in more detail as part of an in-situ measurement campaign. By using a combined measurement and prediction method to assess the effectiveness of the mass-spring system, it was possible to confirm compliance with the requirements set almost 20 years ago.

1 Aufgabenstellung

Die Straßenbahn in Grenoble gilt seit ihrer Wiedereinführung im Jahr 1987 als weltweit erstes Nahverkehrssystem, das ausschließlich auf Niederflertechnik bei Straßenbahnen setzt. Das aktuelle normalspurige Straßenbahnnetz umfasst fünf Linien und erstreckt sich über eine Gesamtlänge von etwa 43 km. Der Betreiber SEMITAG setzt derzeit zwei verschiedene Fahrzeugtypen ein: die Modelle Alstom TFS 2 und Alstom Citadis 402 (Bild 1).

Um die Umgebung vor Vibrationen zu schützen, wurden in Grenoble je nach Anforderung an die Erschütterungsminderung verschiedene Maßnahmen ergriffen. Hierzu zählen elastische Schienenbefestigungssysteme, elastische Schwellen-

schuhe oder elastisch gelagerte Gleistragplatten. Die Anforderungen zur Erschütterungsminderung für den Straßenbahn-Oberbau in Grenoble wurden aus Vibrationsmessungen an Gebäudewänden bei Straßenbahnen in Nantes, Mailand und Wien Anfang der 80er Jahre sowie aus später durchgeführten Simulationsstudien abgeleitet [1, 2]. Die damaligen Messungen und Simulationsstudien ergaben, dass bei einem neuen Straßenbahnbetrieb an den angrenzenden Gebäudewänden Geschwindigkeitspegel (Referenzwert $5 \cdot 10^{-8}$ m/s) von 70 dB bis 80 dB zu erwarten gewesen wären. Dies hätte in weiterer Folge zu Überschreitungen des Immissionsgrenzwertes von 25 dB(A) des sekundären Luftschalls in diesen Gebäuden geführt. Für den Straßenbahnbetrieb in Grenoble sollten da-

her erschütterungsmindernde Maßnahmen umgesetzt werden [1]. In Abhängigkeit der Gebäudeabstände zur Gleisachse wurden, abgeleitet aus den vorangegangenen Prognosen, verschiedene schwingungsmindernde Maßnahmen für den Oberbau festgelegt, um den damals definierten Grenzwert von 60 dB an den Gebäudewänden einzuhalten [1, 2, 3]. Bei Gebäudeabständen von mehr als 12 m zur Gleismitte wird heute der klassische Standardoberbau mit einer 9 mm dicken Zwischenlage eingebaut. Im Bereich von 7 m bis 12 m Abstand kommen hochelastische Schienenstützpunkte zum Einsatz, während bei Abständen unter 7 m Masse-Feder Systeme verwendet werden. Die Simulationsstudien haben gezeigt, dass mit hochelastischen Schienenstützpunkten im Vergleich zur klassischen Bau-

art Schwingungsminderungen von 10 dB bei einer Terz-Mittenfrequenz von 63 Hz und mit Masse-Feder Systemen mit einer vertikalen Eigenfrequenz von ca. 18 Hz Schwingungsminderungen von 20 dB bei einer Terz-Mittenfrequenz von 63 Hz erreicht werden können [1, 2]. Als klassische Bauart wurde der Standardoberbau des Verkehrsbetreibers mit elastischen Zwischenlagen mit einer statischen Nennsteifigkeit von etwa 150 kN/mm herangezogen. Verschiedene Ingenieurbüros haben die schwingungstechnischen Anforderungen an den Oberbau übernommen, wobei diese als Pegelminderung im Vergleich zur klassischen Bauart definiert sind. Im Laufe der Zeit haben einige Ingenieurbüros jedoch diese Kriterien der Pegelminderung fehlerhaft interpretiert und angewendet, indem sie die Pegeldifferenz zwischen dem Masse-Feder System und Gehweg als Zielgröße herangezogen hatten. Im weiteren Verlauf wird ausführlich auf den Unterschied zwischen Einfügungsdämmung und Pegeldifferenz eingegangen, der aufgrund dessen entsteht. Im Jahr 2004 nahm der Betreiber SEMITAG einen Streckenabschnitt in der Avenue de Valmy in Betrieb, der mit einem Masse-Feder System ausgerüstet ist und von der Linie C befahren wird. Nach fast 20 Betriebsjahren wurde durch Kontrollmessungen an der Fahrbahn die Wirksamkeit der elastischen Lagerung der Gleistragplatte untersucht und – wie nachfolgend ebenfalls beschrieben – die Einhaltung der Anforderungen überprüft.

2 Fahrbahnsystem

Der Querschnitt des Masse-Feder Systems in der Avenue de Valmy ist in *Bild 2* dargestellt. Es handelt sich um eine Ausführung mit einer Gleistrag-

platte von etwa 720 mm Dicke und einer vollflächig verlegten elastischen PUR-Lagerung mit einer Dicke von 28 mm. Die Gleistragplatte setzt sich aus einer Fahrbahnplatte mit einer Dicke von etwa 320 mm, einem Biblockschwellen-System mit Betonverguss (Höhe ca. 230 mm) und einer Fahrbahneindeckung von etwa 170 mm Dicke zusammen. Das Schienenbefestigungssystem beinhaltet eine Zwischenlage mit einer statischen Nennsteifigkeit von etwa 150 kN/mm. Die Schienen wurden

3 Berechnungen

3.1 Bestimmung der Schieneneinsenkung

Durch den Einsatz analytischer Ersatzmodelle kann eine schwingungsdynamische Auslegung des Masse-Feder Systems durchgeführt werden. Mit Kenntnissen über wesentliche Parameter wie Radlast, zugeordnete dynamisch wirksame Masse je Achse, dynamisch wirksame Masse des Oberbaus, Steifigkeit und Dämp-



Bild 1: Straßenbahn Fahrzeug Alstom Citadis 402 in der Innenstadt von Grenoble

beidseitig gegenüber der Fahrbahneindeckung durch einen Schienenverguss vertikal getrennt. Den seitlichen Abschluss des Masse-Feder Systems bilden 20 mm dicke elastische PE-Matten mit einem nach oben zur Fahrbahn abschließenden Fugenverguss.

fung der elastischen Elemente, Admittanz des Unterbaus und ähnliche Größen können die Einsenkung der Gleistragplatte bzw. des Schienenstützpunktes bei Zugüberfahrt, die Abstimmfrequenz und die Einfügungsdämmung abgeschätzt werden [4]. In *Bild 3* sind die zu erwartenden

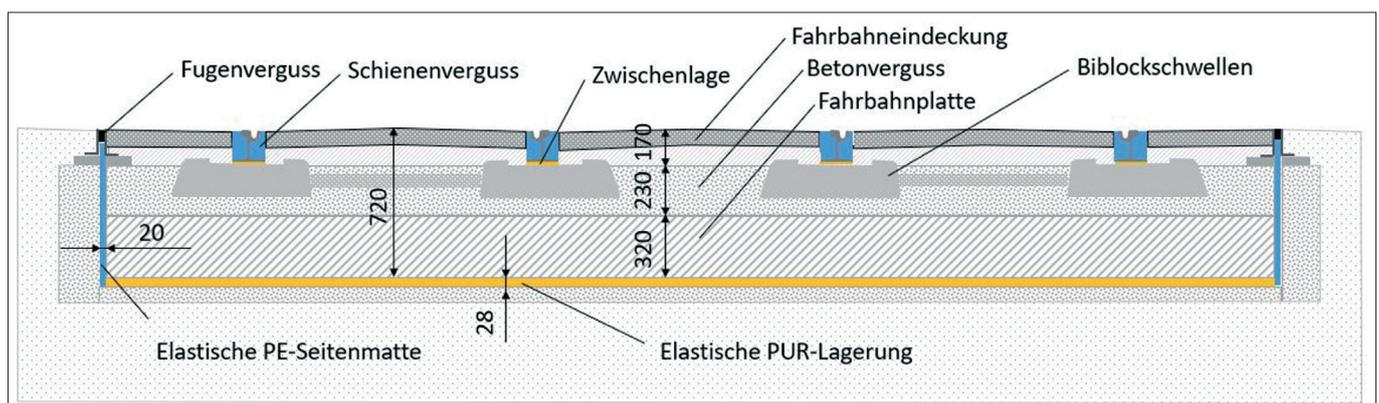


Bild 2: Querschnitt des Masse-Feder Systems in der Avenue de Valmy

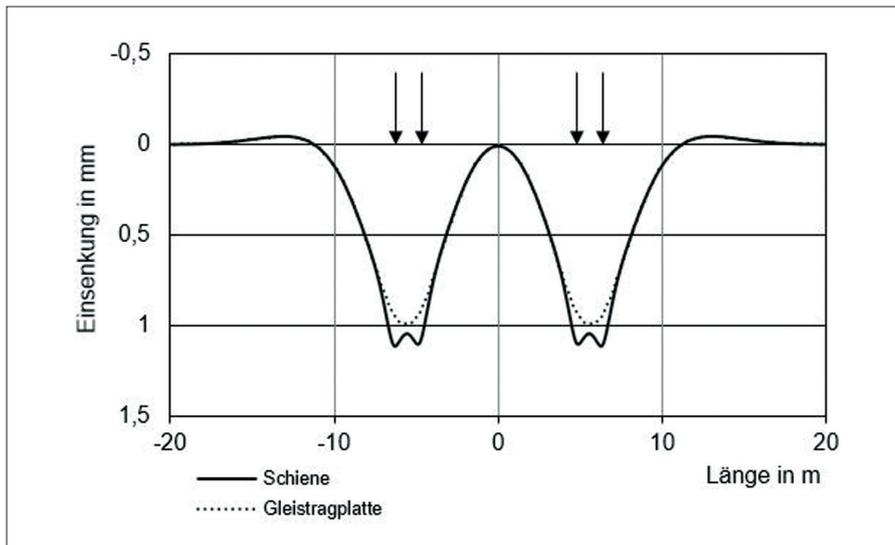


Bild 3: Rechnerische Einsenkung der Schiene bzw. der Gleistragplatte

den Einsenkungen der Schiene und der Gleistragplatte bei Zugüberfahrt dargestellt. Die maximale Schieneneinsenkung, verursacht durch den fahrenden Zug, beträgt etwa 1,1 mm. Diese setzt sich aus der Einsenkung der Gleistragplatte (MFS) von etwa 1 mm und der Einsenkung der Stützpunkte von etwa 0,1 mm aufgrund der Zwischenlage zusammen.

3.2 Rechnerische Bestimmung der Eigenfrequenz des Masse-Feder Systems inklusive Fahrzeug

Die Wirksamkeit einer schwingungsmindernden Maßnahme bei einem Ei-

senbahnoberbau wird als Einfügungsdämmung bezeichnet. Sie stellt die tatsächliche Reduktion der ursprünglichen Schwinggeschwindigkeit an einem Immissionsort aufgrund der Maßnahme dar. Für eine analytische Abschätzung der Einfügungsdämmung ist eine Obermodellierung des betreffenden Masse-Feder Systems (Designsystem) und des entsprechenden Referenzsystems durch Verwendung diskreter Elemente, Impedanzen oder FE-Modelle erforderlich [4]. Jede Modellierung eines Oberbausystems mithilfe eines mechanischen Ersatzmodells erfordert, abhängig von der Modellpräzisierung, gewisse Vereinfachungen. Ebenso führen Annahmen zum Unter-

grund und der Einfluss der Seitenmatten und Fugen auf die Bettungssteife dazu, dass die Minderungswirkung der erschütterungsmindernden Maßnahme rechnerisch nur abgeschätzt werden kann. Die Zwischenlagen stellen beim Masse-Feder System eine zusätzliche elastische Ebene dar, wodurch in einfacher Näherung ein 2-Massen-Schwinger als Ersatzmodell herangezogen werden kann. Der Standardoberbau des Verkehrsbetreibers mit elastischen Zwischenlagen mit einer statischen Nennsteifigkeit von etwa 150 kN/mm fungierte bei dieser Betrachtung als Referenzsystem.

In Bild 4 ist die rechnerisch abgeschätzte Einfügungsdämmung des Masse-Feder Systems mittels diskreter Ersatzsysteme dargestellt. Mithilfe eines analytischen Ersatzmodells [4] konnten die Eigenfrequenzen des Masse-Feder Systems ohne Fahrzeug auf 25 Hz und mit Fahrzeug auf 18 Hz bestimmt werden. Ab einer Frequenz von 63 Hz kann eine Einfügungsdämmung von mehr als 20 dB angenommen werden. Oberhalb von etwa 150 Hz ist der Einfluss der Zwischenlagen aufgrund des 2-Massen-Schwinger-Verhaltens als „Einbruch“ in der Einfügungsdämmung deutlich erkennbar. Im Bereich der Abstimmfrequenz von 18 Hz ist eine Verstärkung der Erschütterungen zu erwarten, welche in der Praxis in der Regel weit geringer ausfällt als theoretisch abgeschätzt.

4 Messungen

Die messtechnische Ermittlung der Wirkung einer Minderungsmaßnahme im eingebauten Zustand ist in der DIN SPEC 45673-3 [5] festgelegt. Darin werden zwei Verfahren beschrieben, um die Einfügungsdämmung an Streckenabschnitten zu bestimmen:

- Vorher/nachher-Messverfahren: Anwendbar, wenn vor und nach der Umbaumaßnahme Messungen an denselben Messquerschnitten und Messpunkten durchgeführt werden können.
- Links/rechts-Messverfahren: Anwendbar, wenn Messungen an Streckenabschnitten mit und ohne elastische Elemente durchgeführt werden können.

Bei einem bestehendem Masse-Feder Systems scheidet das Vorher/nachher-Mess-

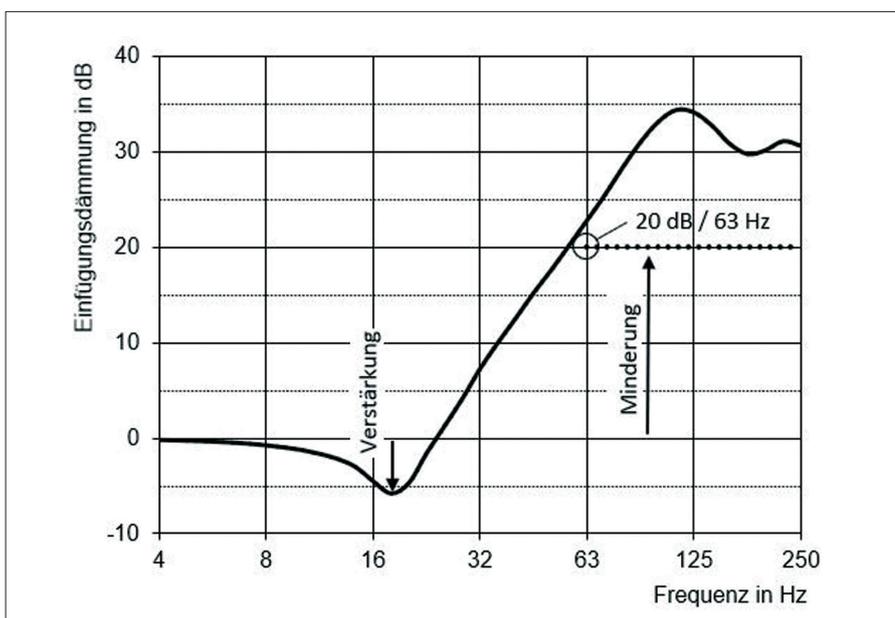


Bild 4: Rechnerisch abgeschätzte Einfügungsdämmung mittels diskreter Ersatzsysteme

verfahren aus, es kann jedoch das Links/rechts-Messverfahren herangezogen werden. Dabei ist es fundamental wichtig, dass die Homogenität des Mess- und Referenzabschnittes bezüglich des Oberbaus bzw. Untergrundes gewährleistet ist. Unterschiedliche Schienenfahrflächenrauheiten, Untergründe, Einzelfehler, Schienenstöße und ähnliche Faktoren können zu systematischen Fehlern bei der Bestimmung der Einfügungsdämmung führen. Teilweise lassen sich diese Fehler reduzieren, indem durch gesonderte Messungen frequenzabhängige Korrekturen, beispielsweise für Untergründe und Schienenfahrflächenrauheiten, bestimmt werden. Wirksamkeitsbestimmungen am realen Gleis sind, wenn zuverlässig durchgeführt, meist kostenintensiv und mit langen Vorlaufzeiten sowie Betriebserschwernissen verbunden. Bei Erschütterungsmessungen an Straßenbahnen im innerstädtischen Bereich können zudem häufig ungünstige Bedingungen auftreten, wie beispielsweise Störeinflüsse aus dem Straßenverkehr, welche eine zuverlässige Bestimmung der Einfügungsdämmung erschweren. Um den Aufwand bei der Beurteilung der Wirkung des Masse-Feder Systems in der Avenue de Valmy so gering wie möglich zu halten, wurde ein alternativer Weg gewählt, indem neben theoretischen Berechnungen leicht zu realisierende ergänzende Messungen vor Ort durchgeführt wurden.

4.1 Bestimmung der vertikalen Eigenfrequenz des Masse-Feder Systems ohne Fahrzeug

Zunächst erfolgte eine Überprüfung, ob das Masse-Feder System in der Avenue de Valmy frei in seiner Eigenschwingung oszillieren kann. Hierzu eignet sich die Bestimmung der vertikalen Eigenfrequenz des Masse-Feder Systems mittels einer künstlichen Stoßanregung hervorragend. Gemäß DIN 45673-7 [6] wird die niedrigste vertikale Eigenfrequenz des Masse-Feder Systems ohne Fahrzeuge als Abstimmfrequenz bezeichnet. Diese Eigenfrequenz kann beispielsweise als Abnahmekriterium vor Inbetriebnahme des Masse-Feder Systems oder als Kontrollgröße bei Langzeitstudien dienen. Sie ist jedoch wegen des fehlenden Betriebsfahrzeugs nicht die relevante Eigenfrequenz für die Erschütterungsminderung.

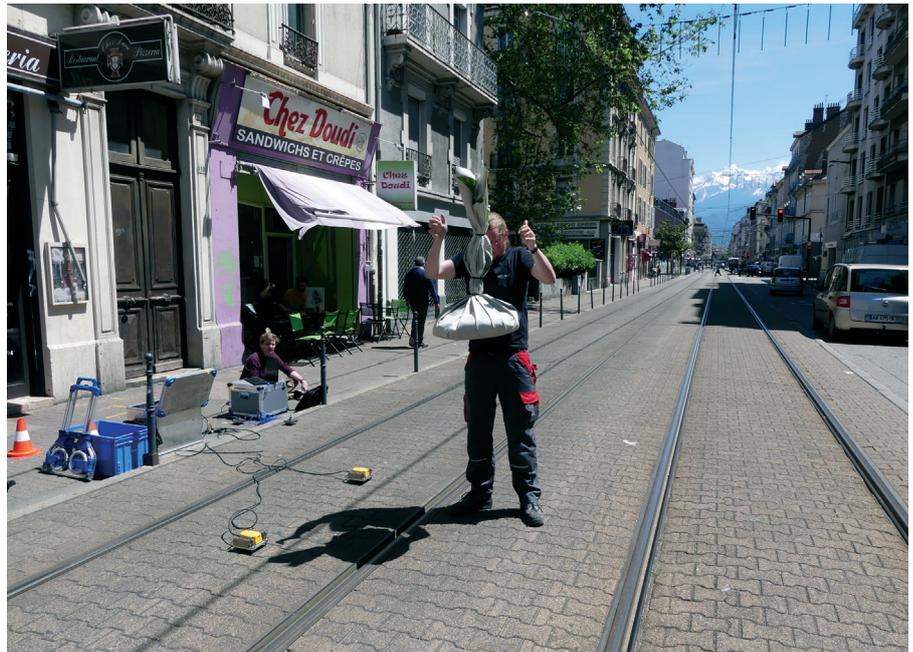


Bild 5: Bestimmung der Eigenfrequenz mittels künstlicher Stoßanregung (hier im Bild an einer anderen Messort)

Im Betriebsfall, also bei Zugüberfahrt, kann sich die Eigenfrequenz des Masse-Feder Systems aufgrund der zusätzlich wirkenden Fahrzeugmasse und eventuell vorhandener Nichtlinearitäten der elastischen Elemente teilweise deutlich von der Eigenfrequenz des Masse-Feder Systems ohne Fahrzeug unterscheiden. Generell gilt: Je geringer die Dicke und damit Masse der elastisch gelagerten Fahrbahnplatte des Masse-Feder Systems, desto größer kann der Unterschied zwischen den beiden genannten Eigenfrequenzen sein. Der zeitliche Ausschwingvorgang des Masse-Feder Systems bei künstlicher Stoßanregung liefert Hinweise darauf, ob ein frei schwingendes Masse-Feder System vorliegt und ob die experimentell bestimmte Eigenfrequenz mit der projektierten Eigenfrequenz übereinstimmt. Die Bestimmung der vertikalen Eigenfrequenz eines Masse-Feder Systems stellt derzeit noch kein genormtes Verfahren dar. Dennoch können Richtwerte für Massen bei künstlicher Stoßanregung aus der DIN SPEC 45673-3 [5] entnommen werden. Beim Masse-Feder System in der Avenue de Valmy wurde eine ca. 15 kg schwere Fallmasse (Sandsack) als künstliche Anregung verwendet, die aus einer Höhe von ca. 1 m mittig auf die elastisch gelagerte Fahrbahnplatte fallen gelassen wurde und dadurch einen tiefrequenten Kraft-Einzelimpuls ermöglichte (siehe *Bild 5*). Die Eigenfrequenz der

Gleistragplatte wurde an mehreren Messquerschnitten mit Geschwindigkeitsaufnehmern aufgezeichnet.

Bild 6 zeigt ein Beispiel des zeitlichen Ausschwingvorganges des Masse-Feder System ohne Fahrzeug. Die untersuchten Ausschwingvorgänge zeigen, dass das Masse-Feder-System mit einer Eigenfrequenz von 25,6 Hz frei schwingen kann. Dabei klingt der Ausschwingvorgang aufgrund von Dämpfungseffekten nach wenigen Schwingzyklen ab.

Bild 7 zeigt eine alternative Auswertemöglichkeit der messtechnisch ermittelten Abstimmfrequenz im Frequenzbereich. Die gemessene Eigenfrequenz ohne Fahrzeug liegt nur knapp über der theoretisch berechneten Eigenfrequenz von 25 Hz. Dies verdeutlicht, dass das Masse-Feder System in der Avenue de Valmy nach fast 20 Betriebsjahren unter Stoßanregung frei in seiner vorhergesagten Eigenfrequenz schwingen kann.

4.2 Bestimmung der Pegeldifferenz

Die Pegeldifferenz der Schwinggeschwindigkeit oder Schwingbeschleunigung oberhalb und unterhalb der elastischen Lagerung, auch als Durchlässigkeit bezeichnet, ist eine zusätzliche Kenngröße zur Charakterisierung der Wirkungsweise eines elastisch gelagerten Systems [7]. Zum Beispiel kann bei elastischen Schie-

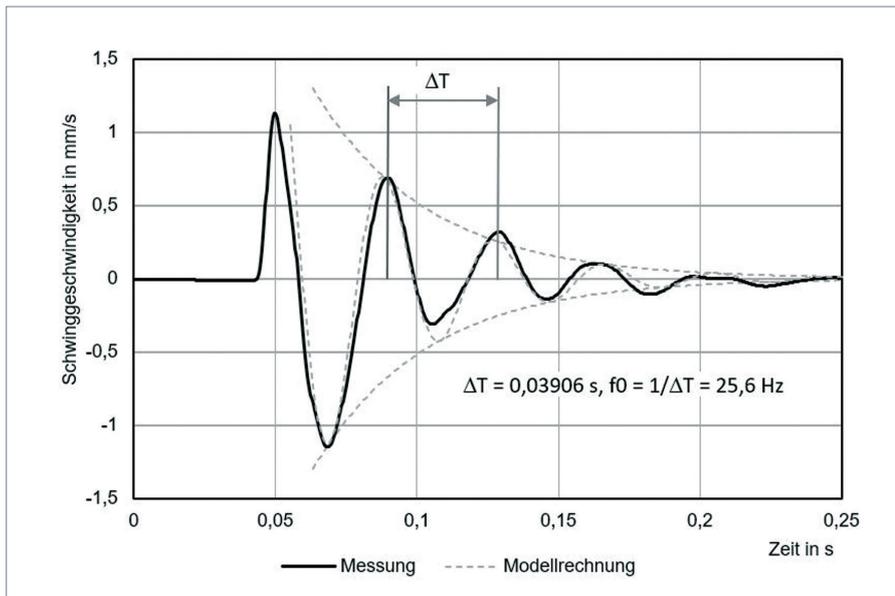


Bild 6: Beispiel eines zeitlichen Ausschwingvorganges des Masse-Feder System ohne Fahrzeug bei künstlicher Stoßanregung

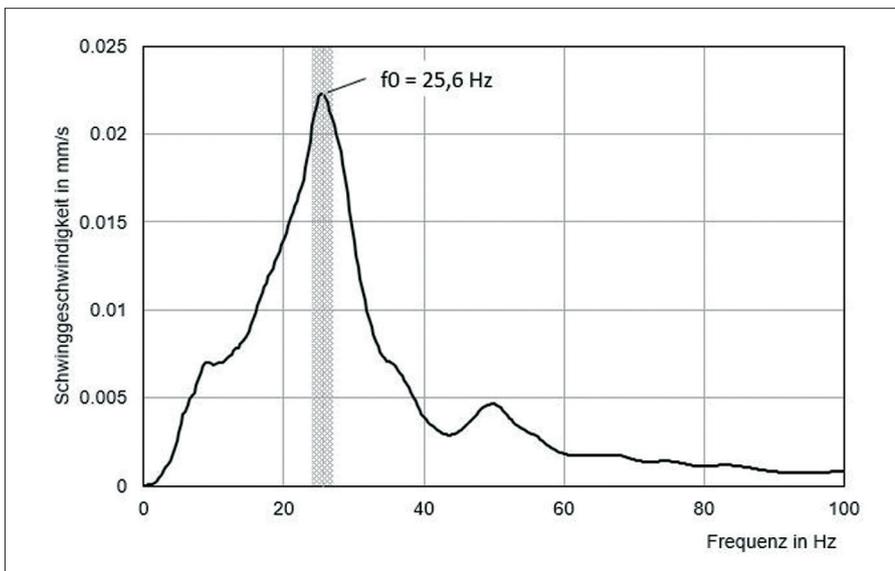


Bild 7: Beispiel eines Schwinggeschwindigkeitsspektrums des Ausschwingvorganges des Masse-Feder System ohne Fahrzeug bei künstlicher Stoßanregung

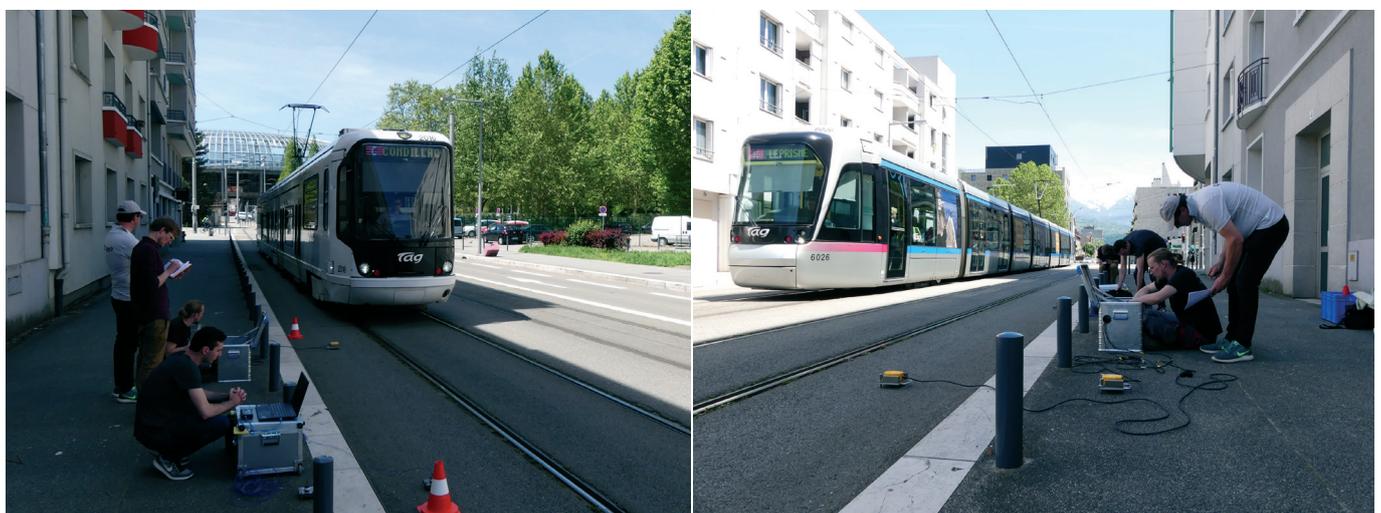


Bild 8: Bestimmung der Pegeldifferenzen bei Zugüberfahrt

nenstützpunkten die Pegeldifferenz zwischen Schiene und Schwelle oder bei Masse-Feder Systemen die Pegeldifferenz zwischen der elastisch gelagerten Gleistragplatte und dem angrenzenden Gehsteig bei Zugüberfahrt ermittelt werden. Für den Betreiber stellt die auf diese Weise ermittelte Pegeldifferenz eine gängige und im vorliegenden Fall auch gewünschte Darstellung der Wirksamkeit der elastischen Lagerung dar, zumal kein geeigneter Referenzabschnitt für den Vergleich zur Verfügung stand. Eine Durchlässigkeit darf jedoch nicht mit dem Einfügungsdämm-Maß gleichgesetzt werden; es handelt sich um zwei unterschiedliche Größen. Die DIN SPEC 45673-3 [5] weist deutlich auf die zu erwartenden Unterschiede der Kenngrößen Durchlässigkeit und Einfügungsdämm-Maß hin. Die Durchlässigkeit im tief- und mittelfrequenten Bereich suggeriert beispielsweise viel zu hohe Dämmwirkungen, da insbesondere die Resonanzverstärkung bei der Durchlässigkeit nicht abgebildet wird. Diese Unterschiede sollten anhand von Messungen der Pegeldifferenz am Masse-Feder System in der Rue de Valmy aufgezeigt werden. Dazu wurden an 3 Messquerschnitten je ein Schwingungssensor auf der elastisch gelagerten Gleistragplatte und je ein Sensor auf dem seitlich befindlichen Gehsteig, ca. 50 cm seitlich der Fuge, platziert und die Erschütterungen bei Zugüberfahrten gemessen (siehe Bild 8).

In Grenoble sind zwei verschiedene Straßenbahnfahrzeuge im Einsatz. Seit 1987 wird der dreiteilige Gelenkwagen Alstom TFS 2 verwendet, und seit 2005 ergänzt der siebenteilige, auf die Fahrzeuglänge

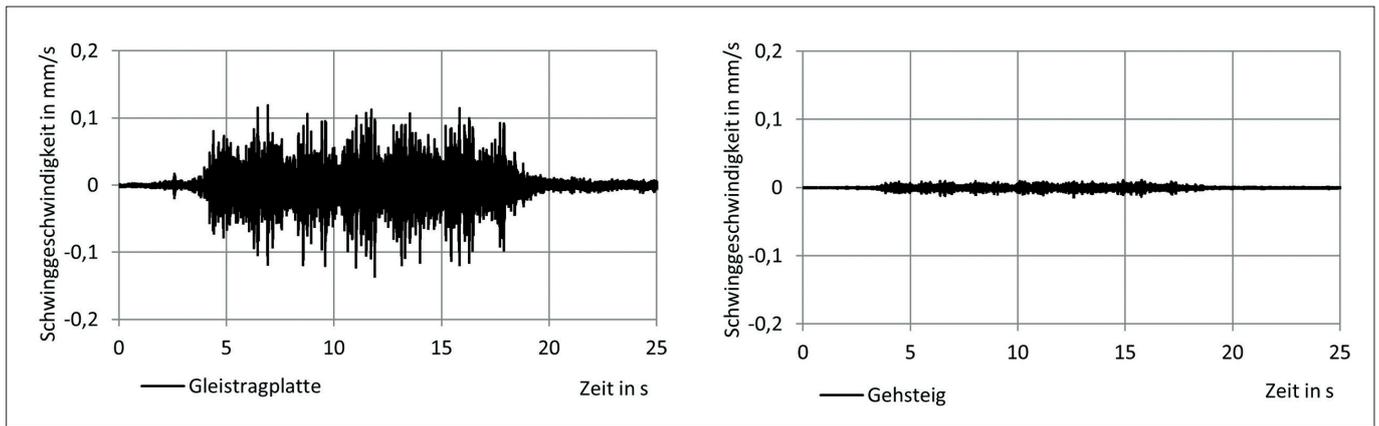


Bild 9: Beispiel für Schwinggeschwindigkeiten einer Zugüberfahrt auf der elastisch gelagerten Gleistragplatte (links) und auf dem Gehsteig (rechts)

bezogen leichtere Multigelenkwagen Alstom Citadis 402 den Fuhrpark. Während der Messungen wurden etwa 10 Zugvorbeifahrten für jedes Straßenbahnfahrzeug aufgezeichnet (Hinweis: Die Erfassung von mehreren Zugfahrten gewährleistet zweifellos eine zuverlässigere Statistik).

Ein charakteristisches Zeitsignal der Schwinggeschwindigkeit der elastisch gelagerten Gleistragplatte und des Gehsteigs während einer Zugüberfahrt ist in *Bild 9* dargestellt. Deutlich zu erkennen sind die wesentlich geringeren Schwinggeschwindigkeitsamplituden auf dem Gehsteig gegenüber der Gleistragplatte. Die gemittelten Schwinggeschwindigkeitspegel aufgrund der verkehrenden Straßenbahnfahrzeuge Alstom Citadis 402 und Alstom TFS 2 sind in *Bild 10* veranschaulicht. Die grau hinterlegten Flächen markieren den jeweiligen Streubereich zwischen den einzelnen Zugvorbeifahrten. Die beiden in Grenoble verkehrenden Straßenbahnfahrzeuge zeigen insbesondere im Frequenzbereich zwischen 40 Hz

und 500 Hz deutlich unterschiedliche Immissionswirkungen.

Bild 11 präsentiert die Pegeldifferenzen der Schwinggeschwindigkeiten zwischen der Gleistragplatte und dem Gehsteig für beide Straßenbahnfahrzeuge sowie das berechnete Einfügungsdämmmaß aus *Bild 4*. Deutlich erkennbar sind die erwarteten Unterschiede zwischen den beiden Kenngrößen Pegeldifferenz und Einfügungsdämmung. Im Gegensatz zum Einfügungsdämmmaß zeigt die Pegeldifferenz keine Verstärkung der Erschütterungen im Bereich der Radsatz-Oberbau-Resonanzfrequenz (Eigenfrequenz mit Fahrzeug) und suggeriert im tief- und mittelfrequenten Bereich sehr hohe Dämmwirkungen. Daher ist besondere Vorsicht bei der Interpretation der Pegeldifferenz in diesen Frequenzbereichen geboten. Bei höheren Frequenzen nähern sich die Pegeldifferenz und die Einfügungsdämmung hingegen bis auf kleine „Modulationen“ immer mehr an. Diese Angleichung ist auch im Anhang

der DIN SPEC 45673-3 [5] beschrieben. Für die beiden Straßenbahnfahrzeuge mit ihren unterschiedlichen Immissionswirkungen zeigen die Pegeldifferenzen annähernd gleiche Werte (siehe *Bild 11*). Die Kontrollmessung der Pegeldifferenz zwischen der Fahrbahnplatte und dem Gehsteig (Durchlässigkeit) des Masse-Feder-Systems bei Straßenbahnüberfahrten, die im Auftrag des Betreibers durchgeführt wurde, verdeutlicht, dass eine Pegeldifferenz von etwa 25 dB bei einer Frequenz von 63 Hz erreicht wird. Bei der Interpretation von Pegeldifferenzen ist Vorsicht geboten, da sie die Wirkung eines Masse-Feder-Systems gegenüber der Beschreibung durch die Einfügungsdämmung nur unzureichend charakterisieren.

5 Fazit

Das im Jahr 2004 in Betrieb genommene Masse-Feder System in der Avenue de Valmy wurde nach fast 20 Betriebsjahren auf seine dauerhafte Funktionsfähigkeit

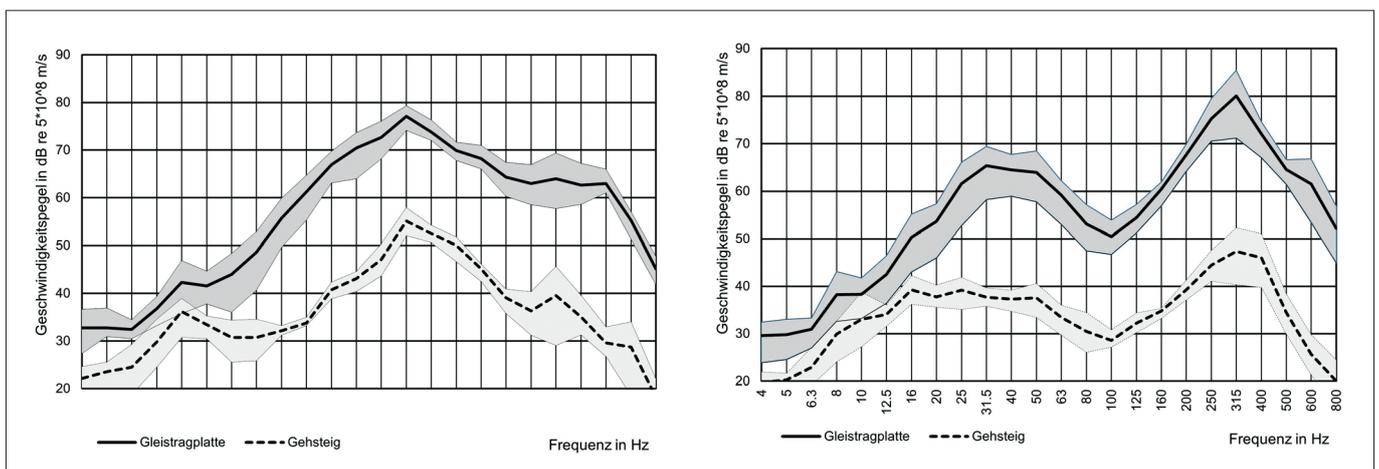


Bild 10: Gemittelte Schwinggeschwindigkeitspegel, Alstom TFS 2 (links), Alstom Citadis 402 (rechts)

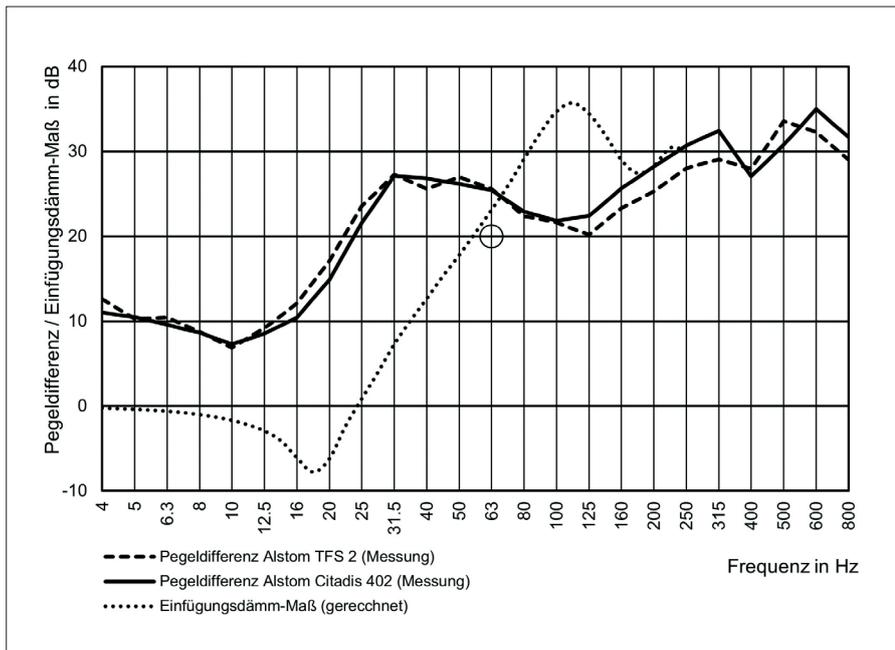


Bild 11: Gemittelte Pegeldifferenz für die beiden Straßenbahnfahrzeuge Alstom Citadis 402 und Alstom TFS

und schwingungsdämpfende Wirkung untersucht. Dabei sollte ein kostengünstiges Verfahren zum Einsatz kommen, das den Betrieb nicht beeinträchtigt. Neben der rechnerischen Ermittlung der schwingungsdynamischen Kennwerte des Masse-Feder Systems mittels eines analytischen Ersatzmodells wurden einfach zu ermittelnde Kennwerte des Masse-Feder Systems an der Strecke gemessen. Mit Hilfe des analytischen Ersatzmodells wurden folgende Kennwerte des Masse-Feder Systems ermittelt:

- Die elastische Lagerung des Masse-Feder Systems führt zusammen mit der Stützpunktsteifigkeit zu Schieneneinsenkungen von 1,1 mm durch den fahrenden Zug.
- Die für erschütterungsmindernde Betrachtungen relevante Eigenfrequenz des Masse-Feder Systems, unter Berücksichtigung der Fahrzeugmassen, liegt bei 18 Hz.
- Ohne Berücksichtigung der Fahrzeugmassen erhöht sich die vertikale Eigenfrequenz auf 25 Hz.
- Ab einer Frequenz von mehr als 63 Hz kann von einer Einfügungsdämmung von mehr als 20 dB ausgegangen werden.

Die In-Situ Messung der vertikalen Eigenfrequenz des Masse-Feder Systems in der Avenue de Valmy ohne Berücksichtigung

der Fahrzeugmassen zeigt, dass das Masse-Feder System nach fast 20 Betriebsjahren unter Stoßanregung mit einer Eigenfrequenz von 25,6 Hz frei schwingen kann. Die projektierte Wirksamkeit des Masse-Feder Systems in der Avenue de Valmy konnte insbesondere vor dem Hintergrund, dass kein geeigneter Referenzabschnitt für den Vergleich der Emissionen zur Verfügung stand, nicht direkt vor Ort messtechnisch bestimmt werden. Auf indirektem Weg über eine analytische Abschätzung konnte gezeigt werden, dass die prognos-



Dipl.-Ing. Markus Heim (58). Studierte Technische Physik an der Technischen Universität Wien. Seit 1991 als Entwicklungsingenieur bei Getzner Werkstoffe GmbH tätig, spezialisiert auf Oberbauoptimierung und Schwingungsreduktion im Eisenbahnoberbau durch Elastomere. Verantwortlich für wegweisende Technologien, darunter Auslegungprogramme für Elastomere, prüftechnische Einrichtungen zur Bestimmung von Elastomerkennwerten und prozessweite Datenerfassungslösungen. Autor zahlreicher Publikationen zu Lärm- und Erschütterungsprojekten im Bahnsektor sowie Langzeitstudien über die Effektivität von Elastomeren im Eisenbahnoberbau. Leitung internationaler Forschungsprojekte. Anschrift: Getzner Werkstoffe GmbH, Herre- nau 5, 6706 Bürs, Österreich.

E-Mail: markus.heim@getzner.com

tizierte Wirksamkeit des Masse-Feder-Systems nach fast 20 Betriebsjahren bestätigt werden kann. Die in-situ messtechnisch ermittelte vertikale Eigenfrequenz ohne Berücksichtigung der Fahrzeugmassen stellt dabei eine ideale Kontrollgröße des Masse-Feder Systems dar, welche die analytische Abschätzung plausibel erscheinen lässt. Die zusätzliche Messung der Pegeldifferenz zwischen der Fahrbahnplatte und dem Gehsteig (Durchlässigkeit) des Masse-Feder Systems bei Straßenbahnüberfahrten, welche auf Wunsch des Betreibers durchgeführt wurde, verdeutlicht, dass eine Pegeldifferenz von etwa 25 dB bei einer Frequenz von 63 Hz erreicht wird. Die projektierte Wirksamkeit des Masse-Feder Systems in der Avenue de Valmy konnte durch diese Studie bestätigt werden, selbst nach fast zwei Jahrzehnten Betrieb und es ist davon auszugehen, dass diese Wirkung weiterhin erhalten bleibt.

#867_A6

(Bildnachweis: 1 bis 11, Verfasser)

Literatur

- [1] Roland, J., Blanc, J.: Les vibrations dues au tramway, Les solutions adoptées à Grenoble. CSTB Report GA/86-191/JR/PP, 1986.
- [2] Huneau, D., Chanel, G.: La voie du tramway nantais. Travaux, 1993.
- [3] ISO/R 1996-1971: Assessment of Noise with Respect to Community Response, 1971.
- [4] DIN V 45673-4: Mechanische Schwingungen – Elastische Elemente des Oberbaus von Schienenfahrwegen – Teil 4: Rechnerische Ermittlung der Einfügungsdämmung im eingebauten Zustand. Beuth Verlag GmbH, Berlin Juli 2008.



Marc Beaumont, M.Sc. (54). Masterstudium Städtebau und Stadtplanung an der Universität Aix-Marseille III. Seit 1998 bei Ingérop, einer führenden Ingenieur- und Consultinggruppe in Frankreich, die auch weltweit vertreten ist. In den 2000er Jahren Ernennung zum städtischen Eisenbahnreferenten. Insgesamt mehr als 25 Jahre Berufserfahrung im Bereich des Stadtverkehrs, u.a. in der vollständigen Leitung des Gleisbaus bis hin zur Abnahme. Begleitung zahlreicher Neubauten, Streckenerweiterungen und Sanierungen von Straßenbahnlinien in vornehmlich französischen Städten (Grenoble, Toulouse, Lyon, Nantes, Nizza, Valenciennes, Orléans sowie in Annemasse, Lüttich) und Durchführung von Beratungstätigkeiten (Toulouse, Casablanca, u.a.). Anschrift: Ingerop, 22, chemin du Vieux Chêne – Bâtiment C, 38240 Meylan, Frankreich.

E-Mail: marc.beaumont@ingerop.com

- [5] DIN SPEC 45673-3: Mechanische Schwingungen – Elastische Elemente des Oberbaus von Schienenfahrwegen – Teil 3: Messtechnische Ermittlung der Einfügungsdämmung im eingebauten Zustand (Versuchsaufbau und Betriebsgleis). Beuth Verlag GmbH, Berlin April 2014.
- [6] DIN 45673-7: Mechanische Schwingungen – Elastische Elemente des Oberbaus von Schienenfahrwegen – Teil 7: Labor-Prüfverfahren für elastische Elemente von Masse-Feder-Systemen. Beuth Verlag GmbH, Berlin August 2010.



Jeremy Rouyre, B.Sc. (39). Physikstudium an der Technischen Universität Montpellier, Bachelorabschluss 2005. Mit mehr als 10 Jahren Berufserfahrung im Eisenbahnwesen seit Anfang 2022 bei Getzner. Verantwortlich für den Eisenbahnvertrieb in

Frankreich, Belgien, Luxemburg und der französischsprachigen Schweiz. Spezialisiert auf Lösungen für Schottergleise (Schienenzwischenlagen, Schwellensohlen, Unterschottermatten) und für Feste Fahrbahnen (Zwischenlagen und Zwischenplatten, Schwellenschuheinlagen, vollflächige oder diskrete Lösungen für Masse-Feder-Systeme).

Anschrift: Getzner France, 19 Rue Jacqueline Auriol, 69008 Lyon, Frankreich.

E-Mail: jeremy.rouyre@getzner.com



Dr. Harald Loy (49). Bauingenieurstudium an der Technischen Universität München, später Promotion an der Universität Innsbruck mit Auszeichnung. Ab 2000 Technischer Berater in München. Seit 2005 Entwicklungsingenieur bei Getzner Werk-

stoffe GmbH im Bereich Forschung & Entwicklung. Von 2007 bis 2011 parallele Anstellung als Wissenschaftlicher Mitarbeiter der Universität Innsbruck und derzeit Postdoc am Institut für Infrastruktur, Arbeitsbereich Intelligente Verkehrssysteme. Schwerpunkte der Tätigkeit in den Bereichen Simulation, Laborprüftechnik und In-Situ-Messungen. 2014 Nominierung für den Staatspreis für Innovation, Übernahme der Verantwortung als Leiter Team Systementwicklung. Seit 2018 Head of R&D Railway Division.

Anschriften: Getzner Werkstoffe GmbH, Herrenau 5, 6706 Bürs, Österreich und Universität Innsbruck, Institut für Infrastruktur, Intelligente Verkehrssysteme, Technikerstr. 13, 6020 Innsbruck, Österreich.

E-Mail: harald.loy@uibk.ac.at

Digitale
Sonderdrucke
Ihres
Fachbeitrages

Einzelne Beiträge können als Sonderdruck Print oder PDF bestellt werden.

Sprechen Sie uns an!

So könnte Ihr
Sonderdruck aussehen:



Geor Siemens Verlag GmbH & Co. KG
Bothstraße 11, 12207 Berlin

Telefon +4930 76990413

Fax +4930 76990418

mail@zevrail.de

www.zevrail.de

Effizientes
Marketing im
exklusiven
Design