

Sonderdruck aus



ETR

EISENBAHNTECHNISCHE RUNDSCHAU

IMPULSGEBER FÜR DAS SYSTEM BAHN

Heft 9 · September 2014

DVW Media Group GmbH · Hamburg

Dipl.-Ing. Mirko Dold
DI Dr. Günther Achs
Ing. Michael Göbl
DI Dr. Michael Mach

Innovative Messfahrten im Lainzer Tunnel – Vorgehen, Durchführung und Ergebnis

Innovative Messfahrten im Lainzer Tunnel – Vorgehen, Durchführung und Ergebnis

Im Rahmen der Inbetriebnahme der Neubaustrecke Wien - St. Pölten konnten die Auswirkungen von unterschiedlichen Masse-Feder-Systemen bei Zugüberfahrt im Rahmen der sogenannten Innovationsmessfahrten untersucht werden.

► Die messtechnische Erfassung im Bereich des Lainzer Tunnels erfolgte im Auftrag der ÖBB-Infrastruktur AG und der Getzner Werkstoffe GmbH durch das Ingenieurbüro FCP ZT GmbH.

Ziel der Messungen war es, zusätzliche Erkenntnisse über das Verhalten von Masse-Feder-Systemen (MFS) während der Zugüberfahrt zu gewinnen und die rechnerisch ermittelten Prognosewerte und somit auch das verwendete Rechenmodell zu verifizieren [Achs, 2014].

1. HERSTELLUNG/BAUABLAUF

Die Herstellung des Schweren Masse-Feder-Systems (S-MFS) muss in mehreren Schritten vorgenommen werden. Auch wenn diese Bauart mittlerweile eine hohe Verbreitung – besonders bei Neubaustrecken – findet, stellt sie immer noch einen hohen Anspruch an die Qualität bei der Bauausführung. So sind beispielsweise die Auflagerflächen und -höhen der Einzellager vor dem Betonieren der Tragplatte einzumessen, und die geforderten Höhen für die Lagersockel mit einer Toleranz von ± 1 mm mittels schwindar-



DI Dr. Günther Achs
Prokurist
Fritsch, Chiari & Partner ZT GmbH
achs@fcp.at



Ing. Michael Göbl
Abteilung Akustik, Baudynamik und Messtechnik
Fritsch, Chiari & Partner ZT GmbH
mgoebl@fcp.at

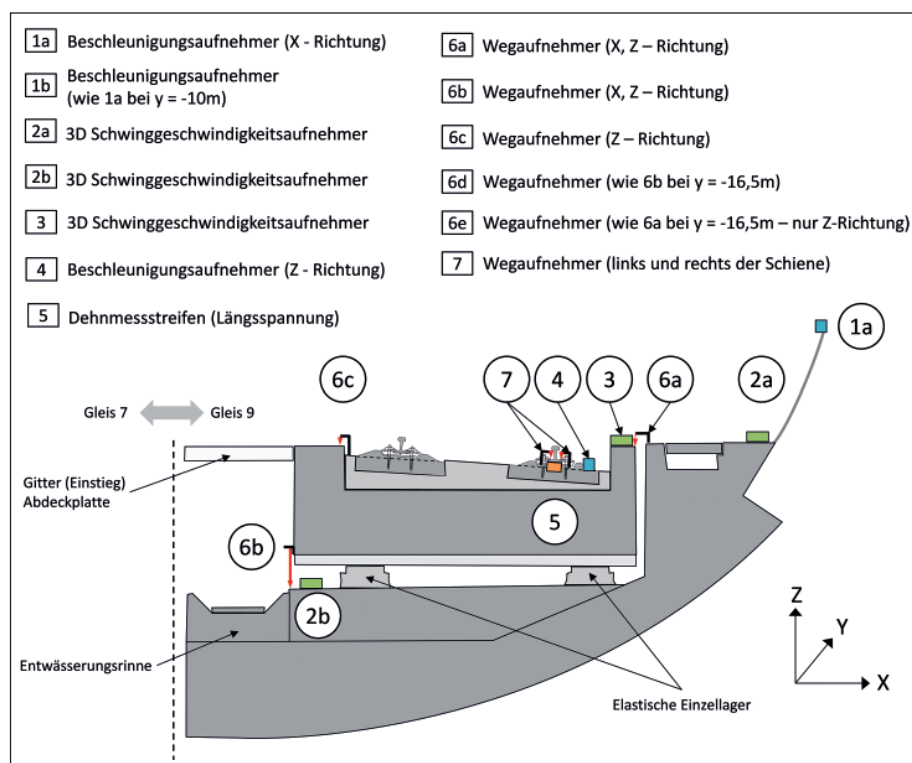


Dipl.-Ing. Mirko Dold
Produktmanagement
Getzner Werkstoffe GmbH
mirko.dold@getzner.com



DI Dr. Michael Mach
Integriertes Streckenmanagement, Integration Technik Center Anlagen, ÖBB-Infrastruktur AG
michael.mach@oebb.at

BILD 1: Messquerschnitt (MQ) km 3,700 (Baukilometer) – MFS 8,6 t/m, Gl. 9, $\ddot{u} = 103$ mm, $r = 1416$ m



mem, hochfestem Ausgleichsmörtel herzustellen. Das Fahrbahnsystem besteht aus Gleistragplatten der Bauart ÖBB/PORR inkl. Vergussbeton, Schienenbefestigung und Schienen. Es bildet nach dem Justieren der Gleislage (SOK) den Abschluss des Masse-Feder-Systems.

Flächenlager (vollflächige elastische Lagerung) bieten den großen Vorteil, dass bei der Herstellung der Festen Fahrbahn mit einem Masse-Feder-System nur ein Zwischenschritt – das Verlegen der elastischen Matten – nötig ist. Auf die verlegten Elastomer-Flächenlager kann direkt betoniert werden. Bei der vollflächigen Lagerung muss darauf

geachtet werden, dass alle stumpfen Stöße mit Klebeband abgedeckt werden, um das Eindringen von Zementschlämmen zuverlässig zu vermeiden. Damit werden Schallbrücken vermieden, die zu einer Minderung der Funktion des Masse-Feder-Systems führen würden.

2. ANFORDERUNGEN AN DIE LAGER

Die Elastomerlager müssen in der Lage sein, die auftretenden Kräfte im Fahrweg über einen langen Zeitraum zuverlässig abtragen zu können. Außerdem müssen die Kennwerte bzgl. statischer und dynamischer Steifigkeit, die bei der Dimensionierung des MFS festgelegt wurden, dauerhaft eingehalten werden.

Dazu werden im Vorfeld zuerst die durch den Zugbetrieb verursachten Kräfte und jene aus der ruhenden Last (Stahlbetontrog) ermittelt und – je nach Anforderungen an die Schwingungsisolierung – die dafür notwendigen Eigenschaften (statische und dynamische Federsteifigkeit, Verlustfaktor, Schubsteifigkeit etc.) vom planenden Ingenieurbüro festgelegt. Auch die Anordnung der Lager (Abstände der Lager in Gleislängsrichtung sowie quer zur Gleisachse, Übergangsbereiche etc.) muss festgelegt werden, damit die Statik und somit der Anteil der Bewehrung des Stahlbetontrogs bestimmt werden kann.

3. QUALITÄTSSICHERUNG

Um die Qualität der Lager laufend sicher zu stellen, werden die geforderten Werte in einem Quality Control Plan (QCP) festgelegt, der von allen Beteiligten anerkannt und verifiziert wird (Hersteller, fremdüberwachende Stelle, Planer und Auftraggeber).

Bei aus PUR gefertigten Lagern kann die Prüfmenge gegenüber einzeln hergestellten Lagern deutlich reduziert werden, was Vorteile bzgl. Kosten und Zeitaufwand mit sich bringt. Der Grund hierfür liegt im kontinuierlichen Fertigungsverfahren, bei dem mit nur einer Mischung Flächen von ca. 2000 m² hergestellt werden. Die Abmessungen der Lager werden dann im Anschluss durch Konfektionierung des flächigen Materials hergestellt.

4. UNTERSUCHTE MESSQUERSCHNITTE

In Absprache mit allen Beteiligten wurden vorab drei geeignete Messquerschnitte ausgewählt. Diese unterscheiden sich hinsichtlich Abstimmfrequenzen und Art der Lagerung der ausgeführten Masse-Feder-Systeme. Zwei Messquerschnitte liegen in

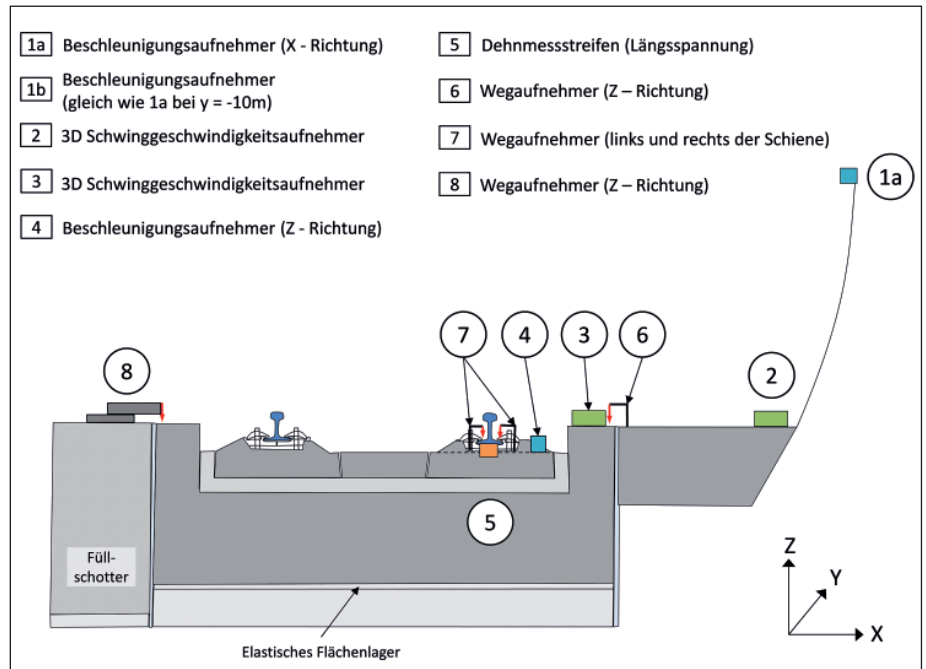


BILD 2: MQ km 5,850 (Baukilometer) – MFS 7,9 t/m, Gl. 9, $\ddot{u} = 0$ mm, $r = \infty$ und MQ km 6,550 (Baukilometer) – MFS 4,2 t/m, Gl. 9, $\ddot{u} = 0$ mm, $r = \infty$



BILD 3: MQ km 6,550 (Baukilometer) – MFS 4,2 t/m, Gl. 9, $\ddot{u} = 0$ mm, $r = \infty$

einer Geraden, der dritte Querschnitt befindet sich in einem Radius. Dadurch ergibt sich eine Überhöhung im kurvenäußeren Bereich.

5. MESSUNGEN IM GLEIS

Der bedeutendste Vorteil der dynamischen Gleismessungen ist, dass die Elemente in ihrer realen Einbausituation belastet werden können. Durch die Durchführung von Messungen kann aufgrund der je nach Zug verschiedenen Belastungen und Randbedingungen (unterschiedliche Messquer-

schnitte) eine Vielzahl von Schwingungs- und Kraftgrößen erfasst werden.

Im Rahmen der Untersuchung wurden alle während der Innovationsmessfahrten erfolgten Zugpassagen sowie drei spezielle Messserien mit folgenden Testfahrzeugen ausgewertet:

- ICE-S (lang/2 Triebköpfe, 2+5 Mittelwagen, 93 80 5410 102-8 D-DB)
- railjet (doppelt/2 x 7 teilig, 1116 159-3)
- Mustergüterzug (Länge 429 m) mit 19 Wagen und zwei Triebfahrzeugen


BILD 4: Exemplarische Darstellung der Instrumentierung an den Messquerschnitten


Insgesamt konnten 52 Überfahrten des ICE-S, 9 Überfahrten des Mustergüterzuges und 35 Überfahrten des ÖBB railjet zur Auswertung herangezogen werden. Die Fahrgeschwindigkeiten lagen zwischen 30 km/h und maximal 160 km/h, was der zulässigen Höchstgeschwindigkeit auf dem untersuchten Streckenabschnitt entspricht. Im Zuge der Messserien wurden zudem auch ergänzende statische Messungen durchgeführt.

5.1. RANDBEDINGUNGEN

Die Messungen wurden im Rahmen der Innovationsmessfahrten 2012 durchgeführt. Im Zuge dieser langfristig geplanten Testfahrten war eine problemlose Instrumentierung der Messquerschnitte im Tunnelbereich über mehrere Tage hinweg möglich. Die Planung selbst erfolgte bereits mehrere Monate zuvor. Die Messfahrten wurden für eine repräsentative Anzahl an gleichartigen Testfahrzeugen bei verschiedenen Fahrgeschwindigkeiten durchgeführt. Dadurch konnte die Varianz der Messwerte minimiert und zuverlässige Werte ermittelt werden.

Instrumentiert und ausgewertet wurden unter anderem die vertikalen und horizontalen Bewegungen der Gleistragplatte und des Trogs, die vertikalen Bewegungen der Schwelle und Schiene, sowie die Schwinggeschwindigkeiten und Schwingbeschleunigungen an Trog, Sohle und Tunnelwand. Auf Basis der gemessenen Einsenkungen wurden zudem die Trog- und Schienenverkipnungen berechnet. Die Schienenspannung wurde zusätzlich mit Hilfe von Dehnmessstreifen ermittelt.

5.2. DURCHFÜHRUNG

Der Aufbau der Messeinrichtungen erfolgte im August 2012 und dauerte fünf Tage. Besonderes Augenmerk musste dabei auf die sichere Verkabelung der Messinstrumente gelegt werden, da geplant war, viele Züge mit teilweise hohen Geschwindigkeiten passieren zu lassen (Bild 4).

Eine Kontrolle der Messdaten und Sensoren vor Ort wurde in regelmäßigen Abständen zwischen den Messtagen durchgeführt. Zusätzliche Sensoren wurden während ausgewählter Zeiträume an der Oberfläche über den sich im Tunnel befindlichen Messquerschnitten positioniert. Dadurch konnte ermittelt werden, in wie weit sich die durch die Züge verursachten Erschütterungen auf das Überdeckungsmaterial oberhalb des Tunnels bis zur Oberfläche übertragen.

6. ERGEBNISSE

6.1. EINSENKUNGEN

Die Einsenkungen des Trogs bei dynamischer Belastung sind in Bild 5 ersichtlich. Im Bereich der Querverfestigungen im MQ km 3,700 (im Bogen, mit Überhöhung) liegen die Einsenkungen tendenziell ca. 20% unter den Einsenkungen des Trogs mittig zwischen den Querverfestigungen (Bild 6). Die geringere Einsenkung ist auf die zusätzliche Steifigkeit der Horizontallager zurückzuführen, die bei Einsenkung des Trogs einen Teil der Kräfte durch Schub abtragen. Die Einsenkungen der Gleistragplatte relativ zum Trog liegen bei ca. 0,30 bis 0,40 mm.

Aus der zeitsynchronen Überlagerung der Einsenkungsmessungen zwischen Schiene und Gleistragplatte, Gleistragplatte und Trog sowie Trog und Unterbeton können Gesamteinsenkungen des Systems ermittelt werden. In Bild 6 sind diese Gesamteinsenkungen für den MQ km 3,700 – MFS 8,6 t/m dargestellt.

Aus dieser Darstellung ist erkennbar, dass insgesamt maximale Einsenkungen in der Höhe von ca. 4 mm auftraten (zulässige Einsenkungen: $w = 10$ mm), wobei diese Einsenkungen nahezu geschwindigkeitsunabhängig waren.

6.2. QUERVERSchiebung, VERDREHUNG UND VERKIPPUNG

Die horizontalen Verschiebungen des Trogs am MQ mit überhöhtem Bogen liegen bei der Querverfestigung bei max. 0,4 mm und im Bereich zwischen den Querverfestigungen bei max. 0,80 mm. Die größten Horizontalverschiebungen treten bei der railjet- und ICE-S-Garnitur bei $v = 160$ km/h auf.

Die Verdrehungen des Trogs am Messquerschnitt im überhöhten Bogenbereich liegen bei ca. $0,02^\circ$ und somit 30 % unter den zulässigen Grenzwerten. Bei den übrigen Messquerschnitten bei ca. $0,01^\circ$. Die Schienenverdrehungen erreichen beim Befahren durch den Mustergüterzug mit bis zu $1,2^\circ$ nach außen die höchsten Werte.

Der Vergleich zwischen den Verdrehungen des MQ km 3,700 – MFS 8,6 t/m im Bereich mit und ohne Querverfestigungen ist Bild 7 dargestellt.

6.3. EIGENFREQUENZ

Im Zuge der Kontrolle der ordnungsgemäßen Bauausführung wurden auf den fertiggestellten Abschnitten baubegleitende Messungen der Eigenfrequenzen durchgeführt. Dies diente einerseits der frühzeitigen Feststellung allfälliger Fehler in der Bauphase und andererseits der Steigerung des Qualitätsbewusstseins auf der gesamten Baustelle. Die Messung der Eigenfrequenzen erfolgte mittels Beschleunigungsaufnehmern, die auf den Masse-Feder-Systemen aufgestellt wurden. Angeregt wurde das System durch transiente Impulse (Fallgewicht, Hammerschläge). Die Messung erfolgte unter dem Eigengewicht des Masse-Feder-Systems inklusive der Masse des Testzugs. Folgende Eigenfrequenzen konnten abgelesen werden:

- MQ km 3,700 LT Gleis 9 – MFS mit Einzellager (8,6 t/m): $f_{0,\text{Messung}} = 8,5$ Hz
- MQ km 5,850 LT Gleis 9 – MFS mit Flächenlager (7,9 t/m): $f_{0,\text{Messung}} = 15,1$ Hz

BILD 5: Einsenkungen des Trogs bei dynamischer Belastung

MQ km 3,700 - MFS 8,6 t/m	MQ km 5,850 - MFS 7,9 t/m	MQ km 6,550 - MFS 4,2 t/m
ca. 1,50 bis 2,10 mm	ca. 0,80 bis 1,30 mm	ca. 0,70 bis 1,00 mm

BILD 6:

Vertikale Einsenkung des Trogs sowie Gesamteinsenkung des Masse-Feder-Systems bei km 3,700 – MFS 8,6 t/m bei der Befahrung mit unterschiedlichen Zugtypen

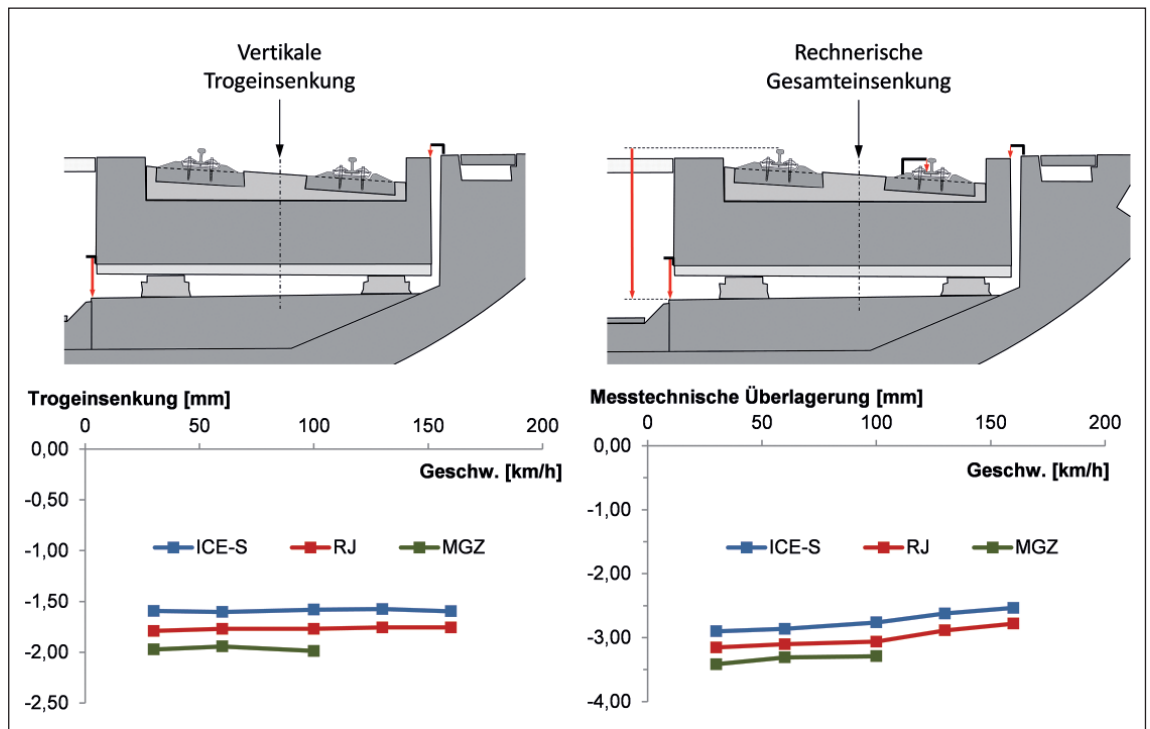
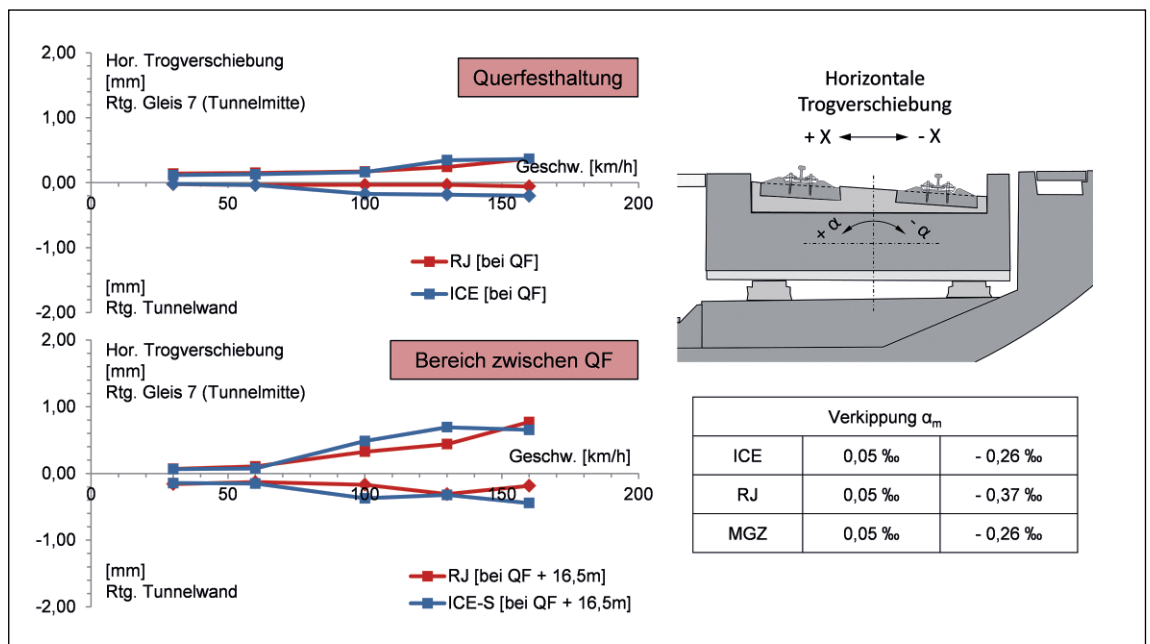


BILD 7:

Horizontale Verschiebungen und Verdrehungen des Trogs des Masse-Feder-Systems auf km 3,700 – MFS 8,6 t/m beim Befahren mit den Zugtypen ICE und railjet



→ MQ km 6,550 LT Gleis 9 – MFS mit Flächenlager (4,2 t/m): $f_{0,Messung} = 22,5 \text{ Hz}$

Der Vergleich der gemessenen Eigenfrequenzen der Masse-Feder-Systeme mit den Berechnungen hat gezeigt, dass die gemessenen Eigenfrequenzen sehr gut mit den Berechnungen übereinstimmen (Bild 8).

6.4. SCHIENENFUSSMITTENSINNUNGEN

Mit Hilfe von Dehnmessstreifen wurden die

BILD 8: Gegenüberstellung der gemessenen Eigenfrequenzen der Masse-Feder-Systeme und der Berechnungen

Bereich	$f_{0,Messung} \text{ [Hz]}$	$f_{0,Rechnung} \text{ [Hz]}$	Lagerart
MQ km 3,700	8,5	8,5	punktförmig
MQ km 5,850	15,1	15,3	vollflächig
MQ km 6,550	22,5	24,4	vollflächig

maximalen Spannungen der instrumentierten Schiene während der Zugpassage ermittelt.

Die Schienenfußmittenspannungen lie-

gen am MQ km 3,700 und MQ km 6,550 bei den niedrigen Fahrgeschwindigkeiten bei ca. 52 bis 57 N/mm². Am MQ km 5,850 treten an der Schienenfußunterseite deut-

lich niedrigere Spannungen von ca. 35 bis 37 N/mm² auf.

6.5. OBERFLÄCHENMESSPUNKTE

An den Oberflächenmesspunkten im freien Feld liegen die durch das Vorbeifahren der Züge verursachten Erschütterungen deutlich unter oder im Bereich der ortsüblichen Umgebungerschütterungen, wie sie z.B. aus dem Straßenverkehr resultieren. In den untersuchten Bereichen kann daher aufgrund einer Unterschreitung der subjektiven Fühlschwelle gemäß ÖN S 9012 von keiner nennenswerten erschütterungstechnischen Belastung ausgegangen werden.

7. SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die Messergebnisse zeigen, dass alle ermittelten Parameter im Bereich der berechneten und erwarteten Größenordnung liegen.

Konkret wurde festgestellt, dass die Gesamteinsenkungen des Masse-Feder-Systems mit maximal $w = 4$ mm weit unter den gemäß der vorgegebenen Richtlinien zulässigen Einsenkungen von $w = 10$ mm liegen.

Auf Basis dieses Ergebnisses wären grundsätzlich auch tiefere Abstimmungsfrequenzen möglich.

Die Verdrehungen bzw. Verwindungen des Systems in den untersuchten Bogenbereichen lagen beim Befahren durch die Testzüge ca. 30 % unter den zulässigen Grenzwerten. Die konstruktive Ausführung dieser Masse-Feder-Systeme in den Bogenbereichen mit Längs- und Querfesthaltungen erfüllt die Zielwerte der Eigenfrequenz und damit die erschütterungstechnischen Anforderungen des Systems.

Die gemessenen Einsenkungen und aufgezeichneten Schwinggeschwindigkeiten zeigen für den Mustergüterzug größere Werte verglichen mit den Messgrößen des Railjet und der ICE-Garnitur. Bezüglich der Horizontalverschiebung und der Verdrehung der Gleiströge wurden beim Mustergüterzug geringere Werte gemessen.

Die durchgeführten Messungen bestätigen das Dimensionierungs- und Berechnungsverfahren der Masse-Feder-Systeme. Die Untersuchungen zeigen, dass die Funktionalität der Systeme und die erschütterungstechnische Wirksamkeit vollumfänglich gegeben sind. ◀

Literatur

- Achs, G.; 2014: Erschütterungen durch Hochgeschwindigkeitsverkehr im Lainzer Tunnel; ETR Spezial Erkenntnisse aus den Innovationsmessfahrten 2012, ISBN 978-3-7771-0467-6, Seite 31-33.
- Achs, G., Pichler, D., Göbl, M.; 2013: Masse-Feder-Systeme im Lainzer Tunnel; Messtechnische Untersuchungen, Bericht

► SUMMARY

Innovative train-based measurements in Lainzer Tunnel – procedure, execution and result

Numerous measurements from moving trains were made at three representative cross-sections, each one with a different Mass-Spring System (point bearings, full-surface and weight) as part of an innovative campaign of tests. Three different train compositions were used (Railjet, ICE and a sample freight train). Some 90 measurement runs were evaluated. All the resulting values fall within the computed and expected order of magnitude and some are very significantly below the permitted limits. In engineering terms, all the systems were found to be fully effective in damping vibrations.