



## FSV-aktuell STRASSE Februar 2025

Mitteilungen der Österreichischen Forschungsgesellschaft  
Straße • Schiene • Verkehr

### Editorial

Sehr geehrte Leserin,  
sehr geehrter Leser,

das Jahr ist noch jung – was erwartet die Österreichische Forschungsgesellschaft Straße – Schiene – Verkehr im Jahr 2025?

Zum Abschluss des vergangenen Jahres wurde zwischen den drei Schwesterverbänden (FSV,

FGSV, und VSS) im D-A-CH-Raum ein gemeinsames Forschungsprojekt beschlossen, welches heuer beginnen wird. Das Forschungsprojekt mit dem Titel „Klimacheck Infrastrukturplanung“ hat das ehrgeizige Ziel kommunale und regionale verkehrsrelevante Vorhaben auf Klimarelevanz zu bewerten. Klimaorientierte Mobilitätsplanung auf allen Entscheidungsebenen soll verbessert werden.

Innerhalb Österreichs wird das Prüfbuch zur Standardisierten Leistungsbeschreibung Verkehr und Infrastruktur neu entwickelt. Dieses ist

eine umfangreiche Zusammenstellung notwendiger Prüfungen, die sich auf zugrundeliegende Normen und Richtlinien beziehen. Die Prüfungen im Sinne der Qualitätssicherung sind für alle Beteiligten, Auftraggeber, Auftragnehmer, Planer etc. transparent.

Selbstverständlich widmet sich die Hauptarbeit der FSV in der Weiterentwicklung der Regelwerke.

Dipl.-Ing. Martin Car  
Generalsekretär der FSV

### Beiträge vom FSV-Preis

Im Rahmen der FSV-Tagung „FSV-Preis 2024 – wir gehen neue Wege, die Jugend geht mit“ bekamen sechs Master-/Diplomarbeiten bzw. Dissertationen, die sich mit verkehrsrelevanten Themen beschäftigen, einen Preis verliehen. Aus den Einreichungen stellen wir zwei prämierte Arbeiten vor:

#### Einfluss von nichtlinearen Systemeigenschaften bei der Ermittlung des Lehr'schen Dämpfungsmaßes im Zeit- und Frequenzbereich

##### Hintergrund und Auswirkungen dynamischer Beanspruchungen

Angesichts der dynamischen Belastungen, die durch den Zugverkehr entstehen, sind Eisenbahnbrücken Schwingungsbeanspruchungen ausgesetzt. Durch den fortschreitenden Ausbau des Hochgeschwindigkeitsnetzes und den zunehmenden Achslasten im Güterverkehr kommt es vermehrt zu Schwingungsanregungen von Brücken. Die Auswirkungen betreffen sowohl den Bahnbetrieb als auch die Brückenstruktur sowie die Fahrzeuge selbst. Damit verbunden steigt das Risiko für Materialermüdung der Tragkonstruktion, übermäßige Verformungsantworten oder es treten Schäden wie Gleislagefehler oder Auflockerung des Schotterbetts auf.

Zudem liegt es in der Verantwortung des Infrastrukturbetreibers, die Betriebssicherheit von Brücken zu gewährleisten, welche unter anderem durch dynamische Berechnungen (Bild 1) nachgewiesen wird. Unter normativen Gesicht-

punkten gilt der Nachweis als erbracht, wenn die maximalen Vertikalbeschleunigungen der Brücke  $\ddot{w}_{max}$  (berechnet aus den Schwingungsprognosen) einen zulässigen Grenzwert  $\ddot{w}_{zul}$  nicht überschreiten. Andernfalls müssen Maßnahmen wie beispielsweise Geschwindigkeitsreduktionen angeordnet werden, die sich jedoch negativ auf die Verkehrsmobilität auswirken können. Allgemein wird die Größe der maximalen Vertikalbeschleunigung  $\ddot{w}_{max}$  von zahlreichen Eingangsparametern beeinflusst, wie z. B. der Rei-

segeschwindigkeit, den Achslasten und der Brückeneigenfrequenz. Ebenfalls von großer Bedeutung ist das Lehr'sche Dämpfungsmaß  $\zeta$ , welches die Dämpfungseigenschaften der Brücke beschreibt. Ein hoher Dämpfungsmaßwert  $\zeta$  führt zu geringerer Schwingungsintensität.

##### Dämpfungsmaßbestimmung – Methodische Ansätze und Problematik

Grundsätzlich gibt es zwei Zugänge zur Bestimmung des Lehr'schen Dämpfungsmaßes  $\zeta$ : Zum ei-

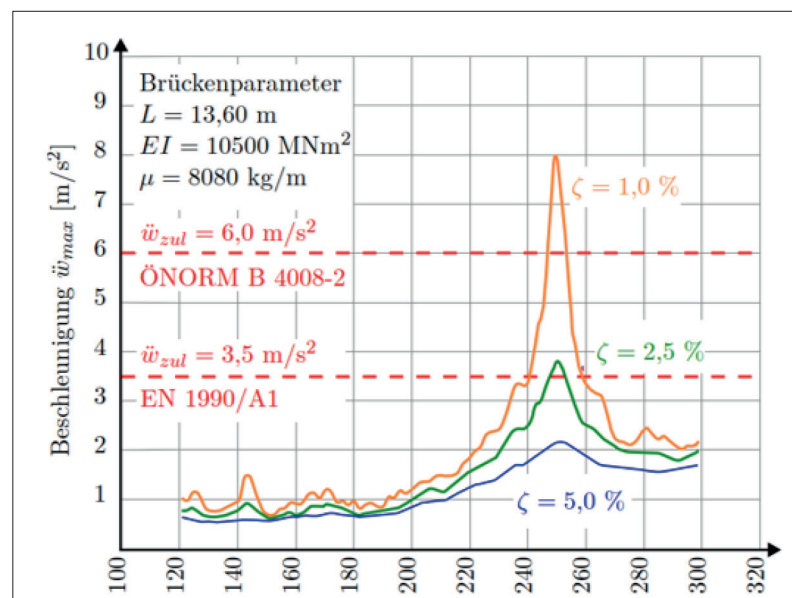


Bild 1:  
Dynamische  
Berechnung

Bild 1: Dynamische Berechnung

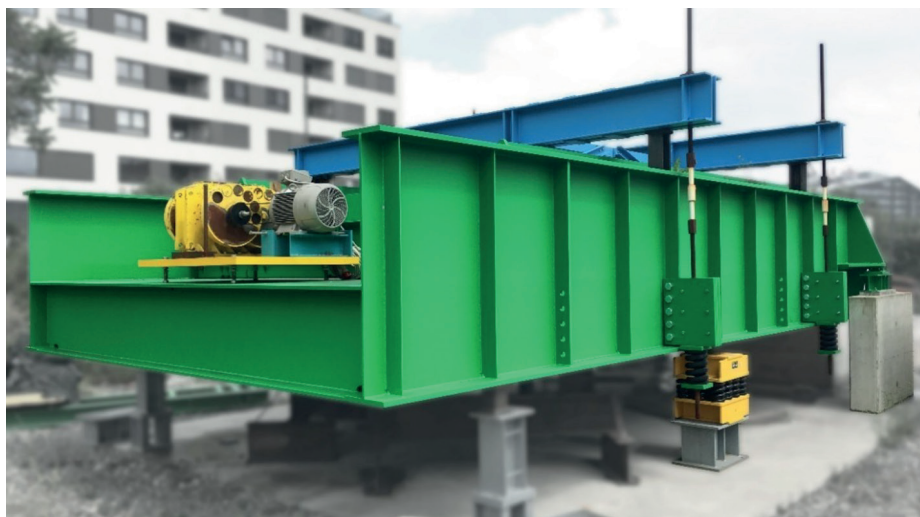


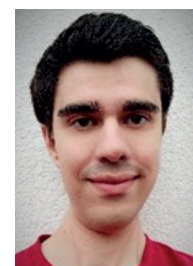
Bild 2: Großversuchsanlage TU-Wien (M = 1:1)

nen erfolgt dies unter normativen Vorgaben (Regelfall), zum anderen durch die Auswertung eines In-situ-Messversuchs an realen Bestandsobjekten. Letzteres ist jedoch mit hohen Kosten verbunden und kommt nur in Einzelfällen vor. Insbesondere weisen die verankerten Empfehlungen des Eurocodes und die konservativen Ansätze zur Regelung des Dämpfungsmaßes  $\zeta$  eine erhebliche Diskrepanz zu den messtechnisch erfassten Ergebnissen auf. Dies führt dazu, dass Schwingungsanregungen seitens der Norm überschätzt werden können, was potentiell zu überkonservativen und damit unwirtschaftlichen dynamischen Beurteilungen von Brücken führt. Die wirklichkeitsnahe Bestimmung des Dämpfungsmaßes  $\zeta$  rückt somit in den Fokus und ist damit aktuell ein großer Forschungsschwerpunkt in der Eisenbahnbrückendynamik.

**Neuentwicklung modellbasierter Dämpfungsmaßbestimmung von Eisenbahnbrücken**

Aus diesem Grund wird im Rahmen von Forschungsprojekten des Instituts für Tragkonstruktionen/Forschungsbereich Stahlbau an der TU Wien mittels einer Großversuchsanlage im Maßstab 1:1 das dynamische Dämpfungsverhalten des Schotteroberbaus näher untersucht. In der Dissertation von Stollwitzer [1] wurden bereits zwei Brückenmodelle auf Grundlage des Euler-Bernoulli-Balkens vorgestellt: Modell 1 (rein vertikal schwingendes System) und Modell 2 (ein komplexeres Modell, das die horizontale Gleis-Tragwerk-Interaktion berücksichtigt). Des Weiteren konnte aus zahlreichen Versuchen für das entsprechende Modell ein energieäquivalenter Einmassenschwinger (kurz: EMS) abstrahiert und

die zugehörigen Materialgesetze abgeleitet werden, dessen Werkstoffcharakteristik (verschiebungsabhängige Feder- sowie frequenz- und beschleunigungsabhängige Dämpferkennlinie) sich hauptsächlich nichtlinear verhält. Die standardmäßig verwendete Vorgehensweise zur rechnerischen Bestimmung des Dämpfungsmaßes von Eisenbahnbrücken berücksichtigt nur den Fall, das Lehr'sche Dämpfungsmaß  $\zeta$  (= die Summe aus dem Dämpfungsanteil des Tragwerks und des Schotteroberbaus) näherungsweise auf Basis eines linearen EMS mit konstanten Materialparametern abzuschätzen. Auch wenn bereits das bisherige lineare Rechenmodell gute Übereinstimmungen im Vergleich zu den empirischen Messungen aufweist, besteht weiterhin die Motivation, die Diskrepanz zwischen Rechnung und Messung zu verringern und die vollen Dämpfungsreserven auszuschöpfen. Aus diesem Grund wurde im Rahmen dieser Diplomarbeit, weiterführende Forschung betrieben, um den Einfluss nichtlinearer Systemeigenschaften bei der Bestimmung des Lehr'schen Dämpfungsmaßes  $\zeta$  anhand eines EMS mit nichtlinearem Materialverhalten zu untersuchen.



Dipl.-Ing. Bernhard Winkler, BSc.

**Methodik zur Verifizierung des Einflusses nichtlinearer Systemeigenschaften**

Ein wesentlicher Bestandteil der Diplomarbeit befasst sich mit dem Lösen nichtlinearer Bewegungsgleichungen im Frequenz- und Zeitbereich. Durch die Formulierung eigener Berechnungsalgorithmen werden für bestimmte Einflussparameter (z. B. Eigenfrequenz  $f_0$ , Beschleunigungsniveau  $\ddot{w}_0$ , Geometriekenngrößen, wie Exzentrizitäten) auf Basis realer Brückentragwerke diskrete Systemantworten mittels numerischer Werkzeuge generiert und ausgewertet.

Bei den Auswertungsverfahren kommen Näherungsmethoden zum Einsatz, die auch bei In-Situ-Messungen Anwendung finden, wie beispielsweise im Frequenzbereich die Kurvenanpassungsmethode mittels äquivalentem linearem EMS. Hierbei wird eine optimale Frequenzgangkurve bestimmt, um die Abweichungen zwischen nichtlinearen und äquivalenten linearen Modellen so gering wie möglich zu halten. Dadurch ist es möglich, das Lehr'sche Dämpfungsmaß eines nichtlinearen EMS  $\zeta_{\text{nichtlinear}}$  zu quantifizieren.

In der weiteren Folge wird (auf analytischem Wege) das Dämpfungsmaß des linearen EMS  $\zeta_{\text{linear}}$  (Referenzmodell) berechnet und verglichen. Als wesentliche Bezugsgröße wird der Relationsfaktor  $\beta$  (Quotient aus  $\zeta_{\text{nichtlinear}}$  und  $\zeta_{\text{linear}}$ ) eingeführt. Kurz gesagt, je größer die Abweichung von  $\beta = 1$  wird, desto bedeutsamer wird der Einfluss des nichtlinearen Materialverhaltens. Um die For-

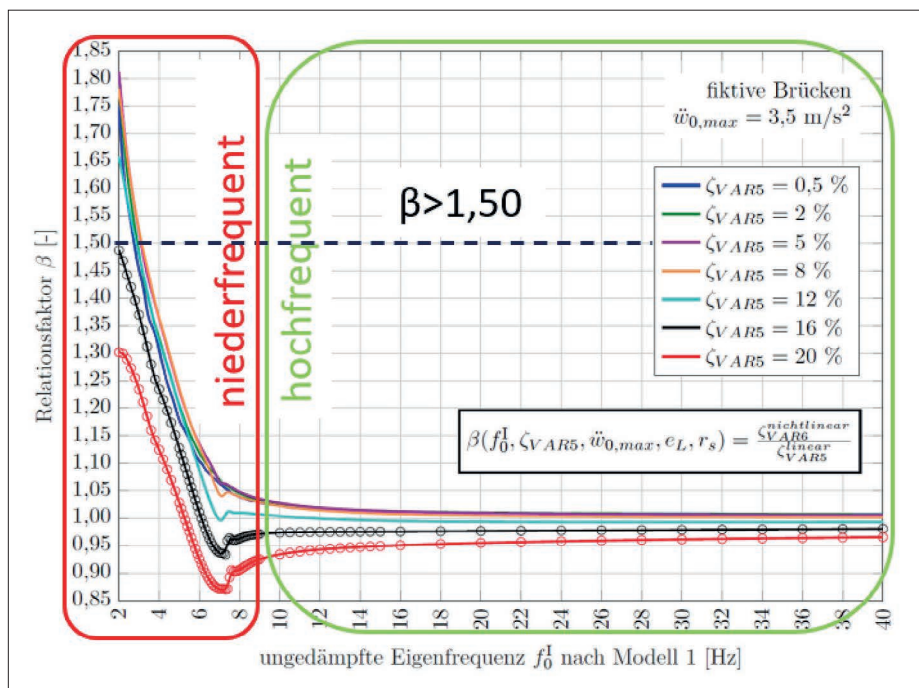


Bild 3: Forschungsergebnisse Modell 2

schungsfrage „Welche Werte nehmen die Relationsfaktoren  $\beta$  für verschiedene Modellvarianten an?“ zu beantworten, sind für eine Vielzahl von Brücken Parameterstudien erstellt worden.

### Einblick in die Forschungsergebnisse

Das Modell 1, mit seinem rein vertikal orientierten Mechanismus (bestehend aus nichtlinearen frequenz- und beschleunigungsabhängigen Dämpfern), zeigt im niedrigen Dämpfungsbe- reich ( $\zeta_{\text{linear}} \leq 5\%$ ) die Tendenz, das Dämpfungsverhalten des linearen Referenzmodells beizubehalten. Wie aus zahlreichen Analysen hervorgeht, liegt der Relationsfaktor im Bereich von  $\beta = 1 \pm 0,05$ . Angesichts möglicher Mess- und Modellierungsungenauigkeiten ist eine lineare Berechnungsmethode bei Modell 1 durchaus vertretbar. Mit steigender Komplexität weist Modell 2 (Bild 3), insbesondere im niederfrequenten Bereich (Eigenfrequenz  $f_0 < 7,88$  Hz), aufgrund einer horizontalen, verschiebungsabhängigen Feder Relationsfaktoren  $\beta > 1,50$  auf, was rechnerisch auf die Nutzung möglicher Dämpfungsreserven hindeutet. Dies könnte Vorteile für die zukünftige nachhaltige Beurteilung der Brückensicherheit bieten. Allerdings zeigt sich in den nichtlinearen Systemantworten von Modell 2 im niederfrequenten Bereich eine deutliche Linksschiefe (d. h. der Amplitudenfrequenzgang hat eine Ausprägung nach links), wodurch die Kurvenanpassungsmethode aufgrund der großen Abweichungen an ihre Grenzen stößt und die Ergebnisse daher kritisch hinterfragt werden müssen.

### Praktischer Nutzen und weiterer Forschungsbedarf

Aus dem hergeleiteten Faktor  $\beta$  ergibt sich die Möglichkeit, die Auswirkungen der tatsächlichen Nichtlinearität am idealisierten linearen Rechenmodell (das aufgrund seiner einfacheren Handhabung primär verwendet wird) per Handrechnung anzupassen. Im umgekehrten Fall besteht das Potential, basierend auf den Ergebnissen eines realen In-situ-Messversuchs an Bestandsobjekten, den Dämpfungskennwert  $C$  des linearen Rechenmodells zu kalibrieren. Durch weitere empirische Untersuchungen ist abzuklären, inwiefern sich die derzeit extrapolierten Regressionslinien (Erregerfrequenzen  $f_0 \geq 9$  Hz) des Materialgesetzes des Dämpfers eignen und welche Auswirkungen ein neuer Kenntnisstand auf beide Modelle haben kann. Auch die Erweiterung und Vertiefung der Modellgenauigkeit, z. B. unter Berücksichtigung einer last- und temperaturabhängigen Schotterfedersteifigkeit und deren Auswirkungen auf den Faktor  $\beta$  wäre zu untersuchen.

Dipl.-Ing. Bernhard Winkler, BSc.

### Literaturangaben:

- [1] A. Stollwitzer. Entwicklung eines Ansatzes zur rechnerischen Bestimmung der Dämpfung von Eisenbahnbrücken mit Schotteroberbau. Dissertation TU Wien, 2021

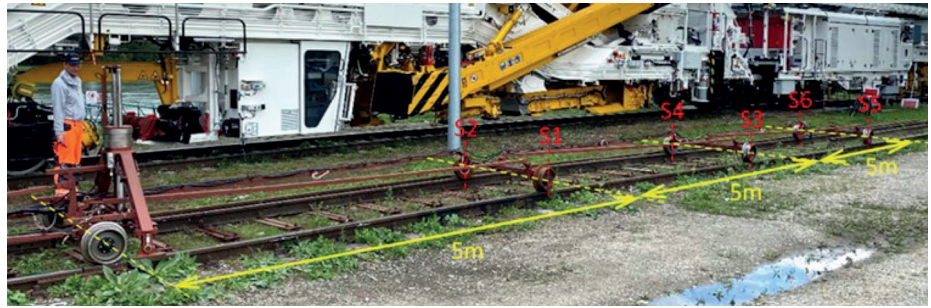


Bild 4: Messvorrichtung mit Schlagvorrichtung auf der ersten Achse (links) und drei Messachsen mit Beschleunigungsaufnehmern (S1 bis S6)

### Beurteilung von Bahntrassen durch Inversion von Dispersionskurven

Im Zuge der Gleisinstandhaltung wird die Gleislage durch kombinierte Hebe-, Richt- und Stopfmaschinen korrigiert. Durch lokale Auflockerungen des Oberbauschotters im Zuge des Stopfprozesses wird dabei der Querverschiebewiderstand herabgesetzt, was sich negativ auf die Verwerfungssicherheit des Gleises auswirkt. Um Langsamfahrstellen nach der Instandhaltung zu vermeiden, wird der Schotter nach der Gleislagekorrektur oftmals mit dem Dynamischen Gleis- stabilisator (DGS) verdichtet. Im Sinne einer Qualitätssicherung soll der Verdichtungserfolg dieser Maßnahme überprüft und aufgezeichnet werden. Es existiert jedoch keine Methode, mit der die Verdichtungskontrolle zum einen prozessintegriert und flächendeckend und zum anderen für die verschiedenen Schichten des Gleiskörpers getrennt (also über die Tiefe differenziert) durchgeführt werden kann. Deshalb wurde in der eingereichten Arbeit ein Verfahren vorgestellt und untersucht, das diese beiden Anforderungen erfüllen soll.

Das untersuchte Verfahren stammt ursprünglich aus der Seismik und wird dort zur Untergrunderkundung und Erdbebenlokalisierung eingesetzt: Seismische Oberflächenwellen werden von Sensor-Array-Messeinrichtungen erfasst und Dispersionskurven (also der Zusammenhang zwischen Frequenz und Ausbreitungsgeschwindigkeit der Wellen) abgeleitet. Durch Inversion der Dispersionskurven kann auf den Schichtaufbau und die Steifigkeiten des Untergrunds geschlossen werden. Für die genannte Problemstellung musste also zum einen eine Messvorrichtung entworfen werden, die während der Fahrt des Schienenfahrzeugs kontinuierlich Oberflächenwellen anregt und diese mit einem geeigneten Sensor-Array misst. Zum anderen musste ein geeigneter Auswertungsalgorithmus entwickelt werden, mit dem Dispersionskurven berechnet und durch Inversion derselben Bodenprofile abgeleitet werden können.

### Messvorrichtung und Versuchsdurchführung

Das Ziel der Arbeit war die Entwicklung einer neuartigen Methode zur Verdichtungskontrolle im Gleisbau mit einem Verfahren aus der Seismik, der sogenannten *Multichannel Analysis of Sur-*

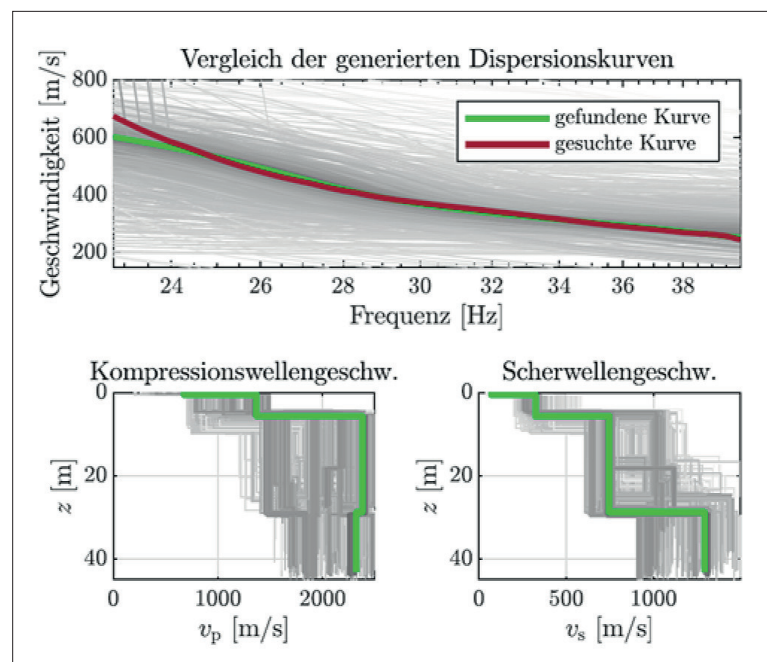


Bild 5: Ergebnisse der Inversion einer Dispersionskurve: In grün jenes Bodenprofil und die dazugehörige Dispersionskurve mit der besten Übereinstimmung zur gemessenen Dispersionskurve (rot)

face Waves (MASW). Die Messauswertung erfolgt in mehreren Schritten (Erfassung der Signale, Berechnung einer Dispersionskurve, Inversion der Dispersionskurve zur Ableitung von Bodenprofilen). Da dies prozessintegriert – also in Echtzeit – umgesetzt werden soll, ist der Einsatz verschiedener Software-Lösungen für die einzelnen Schritte nicht geeignet. Aus diesem Grund wurde der gesamte Prozess in einem Matlab-Algorithmus automatisiert.

Die Messvorrichtung besteht aus vier Radachsen, die über Stahlstangen gelenkig verbunden sind und von einem Schienenfahrzeug über das Gleis gezogen werden (siehe Bild 4): Auf der ersten Achse befindet sich eine Schlagvorrichtung, die durch ein Fallgewicht Oberflächenwellen im Gleiskörper anregt. Die restlichen Achsen dienen der Montage von jeweils zwei Beschleunigungsaufnehmern zur Erfassung und weiteren Verarbeitung der Oberflächenwellen. Bei der Hauptuntersuchung auf einem Versuchsgleis in Linz konnten Messdaten in einer ausreichend guten Qualität gewonnen werden, um den Auswertungsprozess zu simulieren und Aussagen über die Eignung des Verfahrens zur Verdichtungskontrolle treffen zu können.

#### Ergebnisse und Erkenntnisse

Mit dem entwickelten Messverfahren konnten Dispersionskurven der generierten Oberflächenwellen berechnet werden. Durch Inversion dieser Dispersionskurven war es möglich, Bodenprofile mit Schichtgrenzen und Steifigkeiten der einzelnen Schichten abzuleiten (siehe Bild 5). Diese Steifigkeiten können in weiterer Folge als Kennwerte der indirekten Verdichtungskontrolle herangezogen werden.

Da das entwickelte Messverfahren erstmals getestet wurde, konnten einige Problemfelder identifiziert und Verbesserungsvorschläge für die

weiterführende Forschung und Umsetzung getroffen werden: Vor allem während der Fahrt über das Gleis treten starke Störsignale auf, deren Ursachen mit den vorliegenden Messdaten nicht final geklärt werden konnten. Hier ist weiterer Forschungsbedarf gegeben.

Außerdem haben die Messachsen jeweils denselben Abstand zueinander. Dieser Umstand stellte sich als besonders problematisch heraus, da dadurch der untersuchbare Frequenzbereich der Oberflächenwellen stark eingeschränkt wird und in weiterer Folge die Kennwerte der abgeleiteten Bodenprofile zunehmend streuen. Es wurde daher eine optimierte Geometrie entwickelt, die mittlerweile umgesetzt und getestet wurde.

#### Schlussfolgerungen

Die untersuchte Methode zur Verdichtungskontrolle im Gleisbau mittels Analyse von seismischen Oberflächenwellen befindet sich noch im Entwicklungsstadium. Weitere Forschungstätigkeiten erscheinen vielversprechend, da mit der eingereichten Arbeit die Grundlagen und weitere Verbesserungsmöglichkeiten für ein flächendeckendes und prozessintegriertes System zur Verdichtungskontrolle im Gleisbau dargelegt werden konnten. Ein solches System besteht bis dato nicht und könnte durch eine umfassende Qualitätskontrolle der Verdichtungsarbeiten den Instandhaltungsprozess im Bahnbau maßgeblich verbessern.

Dipl.-Ing. Georg Wagner, BSc.



Dipl.-Ing.  
Georg Wagner, BSc.

## Neue Mitglieder im FSV-Vorstand

Die FSV ist ein gemeinnütziger Verein mit der zentralen Aufgabe technische Richtlinien zur Anwendung im Verkehrswesen zu erstellen und zu veröffentlichen. Diese Vereinstätigkeit braucht viel Unterstützung aus allen Ecken des Verkehrswesens, Ministerien, Bundesländer, Gemeinden, Unternehmen, Universitäten und technische Büros schicken ihre Expertinnen und Experten, um in der FSV gemeinsam den Stand der Technik in den Regelwerken der FSV festzuhalten und fortzuschreiben.

Als oberstes Gremium fungiert der FSV-Vorstand, der ebenso aus allen Ecken des Verkehrswesens zusammengesetzt ist, die strategischen operativen Ziele setzt und an die untergeordneten Gremien, Arbeitsgruppen und die Geschäftsstelle delegiert.

Eine Umbesetzung im FSV-Vorstand erfordert eine Abstimmung in der Generalversammlung. Durch das Ausscheiden von zwei Vorstandmitgliedern Ende 2024 wurden zwei neue Mitglieder in der vergangenen Generalversammlung im November vorgestellt und zur Abstimmung gebracht.

Wegen der Zustimmung in der Generalversammlung konnten Dipl. Wirtsch.-Ing. (FH) Ing. Harald Krammer und Dr.techn. Ferdinand Pospischil, MSc., neu in den FSV-Vorstand aufgenommen werden.

Die FSV-Geschäftsstelle wünscht den neuen Mitgliedern im Vorstand alles Gute für deren ehrenamtliche Tätigkeit im Sinne des Vereins.

FSV

## Kommende Veranstaltungen und Seminare

#### FSV-Tagung

**FSV-Verkehrstag 2025 mit Fachausstellung**  
6.5.2025  
Vienna Marriott Hotel, 1010 Wien

#### FSV-Schulung

**Fachkraft für Fahrzeugrückhaltesysteme**  
24.–26.2.2025  
FSV, 1040 Wien

#### FSV-Seminar

**Standardisierte Leistungsbeschreibungen  
Version 7 – Basisseminar**  
27.2.2025  
FSV, 1040 Wien

#### FSV-Infvormittag

**Gemeindestraßen, Güterwege und  
ländliche Straßen**  
27.3.2025  
Austria Trend Hotel, 6020 Innsbruck und Web

Nähere Informationen zu diesen und weiteren Veranstaltungen und eine Online-Anmelde-möglichkeit finden Sie auf unserer Homepage [www.fsv.at](http://www.fsv.at).

## In der nächsten Ausgabe ...

... erwarten Sie weitere interessante Berichte zu Richtlinien und Veranstaltungen der FSV.

#### FSV-aktuell Straße:

„Österreich-Teil“ und offizielles Organ des Bereichs Straße der Österreichischen Forschungsgesellschaft Straße – Schiene – Verkehr (FSV)

#### FSV-Geschäftsstelle:

A-1040 Wien, Karlsgasse 5  
Tel.: +43 1 58 55 567  
Fax: +43 1 58 55 567-99  
E-Mail: [office@fsv.at](mailto:office@fsv.at)  
<http://www.fsv.at>

#### Schriftleitung:

DI (FH) DI Ehrenfried Lepuschitz  
(Kommentare, Anregungen, Beitragsideen usw. erwünscht!)

Weitere Informationen und Bestellmöglichkeit der Publikationen der FSV auf [www.fsv.at](http://www.fsv.at).

Bei Bestellungen im EU-Raum bitte Ihre UID bekannt geben (in Deutschland = DE + 9 Ziffern).

#### Abonnementpreis

der Zeitschriften  
*Straßenverkehrstechnik* sowie  
*Straße und Autobahn*

**für FSV-Mitglieder ermäßigt!**