



FSV-aktuell STRASSE März 2024

Mitteilungen der Österreichischen Forschungsgesellschaft
Straße • Schiene • Verkehr

Editorial

Sehr geehrte Leserin,
sehr geehrter Leser,

Die Vorbereitungen auf das größte Event im Verkehrswesen in Österreich sind schon im Laufen und die Österreichische Forschungsgesellschaft Straße – Schiene – Verkehr (FSV) freut sich ihre Leistungen darbieten zu können und viele Besucherinnen und Besucher begrüßen zu dürfen.

Der FSV-Verkehrstag 2024 mit Fachausstellung findet wie im Vorjahr wieder im Marriott Hotel

statt. Wir sind froh, dass die neue Location des Verkehrstages vergangenes Jahr sehr gut angekommen ist.

Für den Verkehrstag werden mehr als 350 Besucher erwartet, in der Fachausstellung wird neben der FSV auch von mehr als 20 Ausstellern der Kontakt mit Partnern, Kunden und andere Interessenten gesucht.

Das Rahmenprogramm wird von einigen Vorträgen getragen, thematisch reicht die Spanne vom Korrosionsschutz über Eisenbahnkreuzungen als Überlappungszone von straßenbezogener und schienenbezogener Planungen und Experten bis hin zu Erdarbeiten, kinderfreundlicher Mobilität und Fauna an Verkehrsflächen.

Das Programm soll von den Besuchern genutzt werden sich von den neuesten Entwicklungen in den Arbeitsgruppen der FSV zu informieren und auch an der Diskussion, Teil zu nehmen. Auch Expertinnen und Experten genießen den Austausch mit dem Publikum.

In der ein und anderen kommenden Ausgabe des FSV-aktuell werden Themen angesprochen, die auch am Verkehrstag referiert und diskutiert werden.

Ich bitte Sie, sich sowohl als Besucher oder auch als Fachaussteller schon jetzt für den Verkehrstag anzumelden.

*Dipl.-Ing. Martin Car
Generalsekretär der FSV*

FSV Preis

Im Rahmen der FSV-Tagung „FSV-Preis 2023 – wir gehen neue Wege, die Jugend geht mit“ bekamen sechs Master-/Diplomarbeiten bzw. Dissertationen, die sich mit verkehrsrelevanten Themen beschäftigen, einen Preis verliehen.

Die Verleihung der Preise erfolgte im November 2023. Aus den Einreichungen stellen wir heute eine prämierte Dissertation vor:

Fallgewichtsdeflektometer-Versuche auf mehrschichtigen Fahrbahnkonstruktionen: Innovative Experimente und multimethodische Struktursimulationen

Fallgewichtsdeflektometer (FWD)-Versuche sind zerstörungsfreie in-situ-Experimente, die durchgeführt werden, um Einblick in den strukturellen Zustand starrer und flexibler Fahrbahnkonstruktionen zu erhalten. Der Aufprall des Fallgewichts erzeugt eine gedämpfte Schwingung der getroffenen Fahrbahnkonstruktion. Verschiebungsmessensoren, sogenannte Geophone, messen die maximalen Auslenkungen in bestimmten Abständen von der Fallgewichtsachse entlang der Fahrtrichtung. Zwei damit verbundene Herausforderungen bilden die Motivation für die vorliegende Arbeit:

- (i) Bei Betonplatten starrer Fahrbahnkonstruktionen kann der beschriebene Standard-FWD-Versuch mögliche Asymmetrien des Tragverhaltens nicht erkennen.
- (ii) Die Durchführung von nominell identischen FWD-Versuchen auf derselben mehrschichtigen Fahrbahnkonstruktion, aber zu unterschiedlichen Zeitpunkten, ergibt normalerweise unterschiedliche Oberflächendurchbiegungen.

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit diesen beiden Herausforderungen im Kontext ingenieurmechanischer Ansätze, die innovative experimentelle Versuchsprotokolle und effiziente Struktursimulationen kombinieren, die mit mehreren Methoden durchgeführt werden.

Kapitel 2 befasst sich mit der Quantifizierung von Asymmetrien des Tragverhaltens starrer Fahrbahnkonstruktionen, wobei die oberste Schicht aus rechteckigen Betonplatten besteht. Der Hauptbeitrag ist eine experimentelle Innovation:

Bei in Betonplattenmitte durchgeführten FWD-Versuchen werden die Durchbiegungen in acht verschiedenen radialen Richtungen und in neun verschiedenen Abständen vom Zentrum des Fallgewichts gemessen. Daraus ergibt sich ein dichtes Gitter von Punkten, an denen Durchbiegungen gemessen werden. Die dort gewonnenen experimentellen Daten erlauben die bisher unmögliche Bewertung von Asymmetrien des Verhaltens der gesteste-

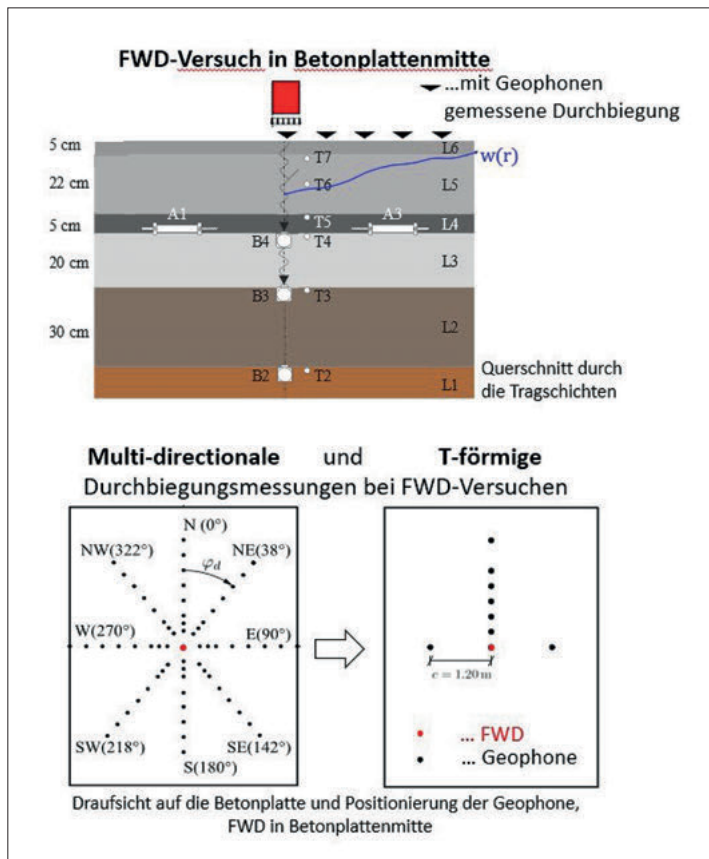
ten Fahrbahnkonstruktionen, basierend auf einem neuen Deflektionsmuldenparameter, der als Asymmetrie-Indikator bezeichnet wird. Eine alte Betonplatte, die 22 Jahre in Betrieb war, weist erhebliche Asymmetrien auf. Eine neu gebaute Platte ver-

hält sich wiederum praktisch doppelsymmetrisch, wenn auch nicht radialsymmetrisch. Das liefert die Motivation, ein Modell mit endlicher Plattengröße für die elastostatische Nachrechnung des FWD-Versuchs auf der neuen Platte zu verwenden. Das Modell besteht aus einer Kirchhoff-Platte mit freien Rändern, die auf einer Winkler-Bettung gelagert ist. Die Steifigkeit der simulierten Platte wird gleich jener der realen Betonplatte gesetzt. Nach Optimierung von zwei Variablen: dem Bettungsmodul und einer neu eingeführten Oberflächenhilfslast, reproduziert das Modell die gemessenen Durchbiegungen sehr zufriedenstellend. Somit bietet das vorgeschlagene Modell eine interessante Alternative zum üblicherweise verwendeten, radialsymmetrischen Dense-liquid-Modell (unendliche Platte auf Winkler-Bettung), bei dem die Steifigkeit der Platte und der Bettungsmodul optimiert werden, um gemessene Durchbiegungen bestmöglich zu reproduzieren.



*Dipl.-Ing. Dr.
Rodrigo Diaz Flores*

Bild 1: FWD-Versuche in zwei unterschiedlichen Anordnungen der Geophone ($w(r)$... Durchbiegung mit dem Abstand r zum Versuchspunkt in der Mitte der Betonplatte)



In Kapitel 3 werden FWD-Versuche mit einer T-förmigen Anordnung von Geophonen vorgeschlagen, gleichsam als Kombination der Vorteile (1) des Standard-FWD-Versuchs, nämlich: schnelle in-situ Charakterisierung und (2) des innovativen FWD-Testprotokolls von Kapitel 2, nämlich: Aussagekraft bezüglich der Bewertung von asymmetrischem Strukturverhalten.

Die Hauptinnovation bezieht sich auf eine neue Anordnung der Geophone: Sieben sind entlang der Fahrtrichtung platziert, und zwei weitere entlang einer Achse orthogonal zur Fahrtrichtung, eines links und eines rechts des Fallgewichts. Um den Abstand der seitlichen Geophone vom Zentrum des Fallgewichts zu optimieren, werden FWD-Versuche mit multidirektionalen Durchbiegungsmessungen an zehn Platten durchgeführt: vier neu gebaute Platten und sechs alte Platten, die jahrzehntelang in Betrieb waren.

Zwei zusätzliche Deflektionsmuldenparameter werden eingeführt:

- (i) der effektive Asymmetrieindex, der alle Asymmetrien, die mittels FWD-Versuchen mit multidirektionaler Messung von Durchbiegungen festgestellt werden können, in nur eine aussagekräftige Zahl zusammenfasst und
- (ii) der laterale Asymmetrieindex, LASIX, der für die Auswertung von FWD-Versuchen mit einer T-förmigen Anordnung von Geophonen maßgeschneidert ist.

Der Abstand der beiden seitlichen Geophone vom Zentrum des Fallgewichts wird so optimiert, dass entsprechende Werte von LASIX bestmöglich mit Werten des effektiven Asymmetrieindex korrelieren. Als optimal erweist sich ein Abstand von 1,20 m. Weiters wird der Ursprung des asymmetrischen Verhaltens der Platten untersucht. Kleine LASIX-Werte, die für leichte Asymmetrien stehen, treten hauptsächlich aufgrund der endlichen Größe der Platten und/oder der Interaktion zwischen benachbarten Platten auf. Große LASIX-Werte, die für starke Asymmetrien stehen, entstehen durch die zusätzliche Langzeitbeanspruchung der Fahrbahnkonstruktion durch Gebrauchslasten, die zu einer ungleichmäßigen Schädigung des Untergrunds führen.

Die LASIX-Werte korrelieren nachweislich gut mit den Richtungsvariationskoeffizienten des Parameters $AREA_7$, der im dense-liquid-Standardmodell als Grundlage für die Quantifizierung des Bettungsmoduls verwendet wird. Damit ermöglicht LASIX die Klärung, ob die Annahme eines einheitlichen Bettungsmoduls sinnvoll oder fraglich ist.

Die empfohlene T-förmige Anordnung von Geophonen ist vom Blickwinkel der praktischen Anwendbarkeit attraktiv, da sie hochautomatisierte und daher schnelle FWD-Versuche durchführbar macht, wobei der Vor-Ort-Aufwand jenem von Standard-FWD-Versuchen entspricht und gleichzeitig ein noch nie dage-

wesenes Quantifizieren des asymmetrischen Plattenverhaltens ermöglicht.

Kapitel 4 ist der innovativen Instrumentierung von drei FWD-Feldmessstellen gewidmet. Ein starrer und zwei flexible Fahrbahnkonstruktionen wurden mit Temperatursensoren, Asphalt-Dehnungsmesssensoren und Beschleunigungsaufnehmern ausgestattet. Dies ermöglichte die Erfassung der Temperaturverteilung in der Fahrbahnkonstruktion, der Verformung des Asphalts an ausgewählten Punkten während der FWD-Versuche und der Ausbreitung von Fronten elastischer Wellen, die durch die Schichten der Fahrbahnkonstruktionen liefern.

Die mit dem Entwurf, der Herstellung und dem Betrieb der Feldmessstellen gesammelten Erfahrungen wurden geteilt. Hinsichtlich des Einbaus von Asphalt-Dehnungsmesssensoren wird empfohlen, in heiße Asphaltsschichten unmittelbar nach deren Einbau und unmittelbar vor deren Verdichtung Stahlattrappen als Platzhalter für die Asphalt-Dehnungsmesssensoren in die Oberfläche einzubauen und kurz vor Installation der nächsten Schicht durch den eigentlichen Sensor zu ersetzen.

Erste Daten aus dynamischen Tests an den Feldmessstellen werden in Kapitel 4 präsentiert. Bei unterschiedlichen Temperaturen durchgeführte FWD-Versuche lieferten erwartungsgemäß unterschiedliche Oberflächendurchbiegungen. Schläge mit einem Vorschlaghammer auf eine Metallplatte, die über eine Hartgummiplatte auf die Fahrbahn übertragen wurden, wurden als kostengünstiges, einfach durchzuführendes und schnell wiederholbares dynamisches Testverfahren eingeführt.

Die Versuche erlaubten die Messung der Geschwindigkeit von elastischen Longitudinalwellen, die sich von einem Beschleunigungsaufnehmer zum anderen ausbreiteten. Dies ermöglichte die Quantifizierung der Steifigkeit einzelner Schichten von Fahrbahnkonstruktionen, basierend auf der Theorie zur Ausbreitung elastischer Wellen durch isotrope Materialien. Bei flexiblen Fahrbahnkonstruktionen konnte gezeigt werden, dass saisonale Schwankungen der FWD-Ergebnisse hauptsächlich auf temperaturabhängige Steifigkeitsänderungen von Asphaltsschichten zurückzuführen sind, da andere Schichten deutlich geringere Steifigkeitsschwankungen aufweisen. Bei starren Fahrbahnkonstruktionen konnte gezeigt werden, dass Vorschlaghammertests es ermöglichen, Situationen mit Vollflächenkontakt entlang aller Schichttrennflächen von Situationen zu unterscheiden, bei denen es zu temperaturgradienteninduziertem Aufwölben der Betonplatte kam, was zu einem teilweisen Kontaktverlust entlang einer Schichttrennfläche führte.

Kapitel 5 bezieht sich auf die asphaltbezogene Temperaturkorrektur von Durchbiegungen, die während FWD-Versuchen auf einer Fahr-

bahnverbundkonstruktion gemessen wurden. An einer der im Kapitel 4 beschriebenen Feldmessstelle (starre Fahrbahnkonstruktion) wurden fünf FWD-Versuche im Sommer, im Winter bzw. in der Übergangszeit durchgeführt.

Die gemessenen Durchbiegungen ergaben sich durch temperaturabhängige Steifigkeitsänderungen der Asphaltenschicht und durch jahreszeitliche Steifigkeitsänderungen des Untergrunds. Die wesentliche Neuerung bestand darin, die gemessenen Durchbiegungen so zu korrigieren, dass sie nur noch Informationen über die saisonalen Steifigkeitsänderungen des Untergrunds enthalten.

Dazu waren einige Schritte erforderlich. Zuerst wurden die Steifigkeiten der Materialien der vier obersten Schichten des Fahrbahnaufbaus wie folgt ermittelt. Zwei Betonarten und der Asphalt wurden im Labor durch zerstörungsfreie einachsige Druckversuche bzw. zyklische Zug-Druck-Versuche (Dynamisch-Mechanische Analyse) charakterisiert. Die Steifigkeit der zementstabilisierten Schicht wurde in-situ mit den in Kapitel 4 beschriebenen Vorschlaghammerversuchen quantifiziert. Der jahreszeitlich veränderliche Elastizitätsmodul (E_{sg} , siehe Bild 2) des Untergrunds wurde zusammen mit seiner konstanten Dicke durch mehrschichtige elastostatische Simulationen zurückgerechnet, sodass die simulierten Verformungen nahezu perfekt mit den gemessenen Verformungen übereinstimmen.

Die Aussagekraft des angepassten Modells wurde dadurch bestätigt, dass vorhergesagte Asphaltdehnungen hinreichend gut mit in-situ-Messungen übereinstimmen. Das mehrschichtige Modell wurde verwendet, um Durchbiegungen für Asphalttemperaturen zwischen -5°C und $+30^{\circ}\text{C}$ zu berechnen, während die Tragschicht-Dicken und Steifigkeiten aller anderen Schichten mit konstanten

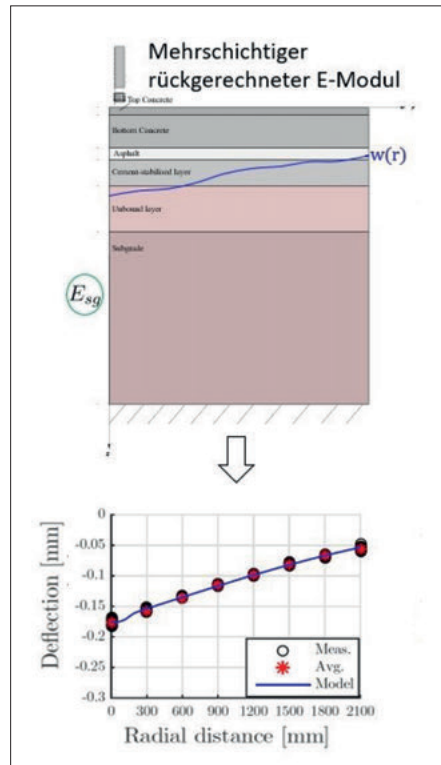


Bild 2: Mehrschichtige Rückrechnung auf den jahreszeitlich veränderlichen E-Modul des Untergrunds (Subgrade)

saisonalen Durchschnittswerten in Rechnung gestellt wurden. Die numerischen Ergebnisse ermöglichten die Entwicklung einer von Westergaard inspirierten Formel zur Umwandlung von gemessenen Durchbiegungen in korrigierte Durchbiegungen, die sich auf eine Asphalttemperatur von 20°C beziehen. Somit resultierten die verbliebenen jahreszeitlichen Schwankungen der korrigierten Durchbiegungen auf jahreszeitlichen Schwankungen der Steifigkeit des Untergrunds.

Mit der AREA4-Methode des dense-liquid-Modells wurden Bettungsmodule aus den korrigierten Durchbiegungen quantifiziert. Diese Bettungsmodule korrelierten gut mit saisonalen Schwankungen des Elastizitätsmoduls des Untergrunds. Die gewonnenen Erkenntnisse betreffend den Einfluss der Steifigkeit des Asphalts bzw. des Untergrunds auf die Oberflächendurchbiegungen ermöglichten die Entwicklung eines weiteren Korrekturansatzes.

Dieser ist besonders gut für die Anwendung in der Ingenieurpraxis geeignet, da er einfach zu handhaben ist und ausschließlich gemessene Durchbiegungen als Eingabewerte erfordert. Dieser Ansatz besteht darin, die bei einem FWD-Versuch an einem Referenzdatum gemessenen Durchbiegungen gleichmäßig zu erhöhen oder zu verringern, sodass die verschobene Durchbiegung, die sich auf einen Abstand von 1.500 mm vom Zentrum des Fallgewichts bezieht, gleich jener Durchbiegung ist, die in dieser Distanz während eines FWD-Versuchs an einem anderen Datum gemessen wurde. Abermals wurden Bettungsmodule aus korrigierten Durchbiegungen quantifiziert, und es konnte gezeigt werden, dass sie gut mit saisonalen Steifigkeitsänderungen des Untergrunds korrelieren.

Das entwickelte Verfahren ist auch deshalb attraktiv, weil es korrigierte Durchbiegungen (anstelle von korrigierten Werten von aus Durchbiegungen abgeleiteten Größen) liefert, und somit die Anwendung aller Methoden ermöglicht, die üblicherweise für die Interpretation und/oder Auswertung von FWD-Versuchsergebnissen verwendet werden. Das schließt sowohl verschiedene Deflektionsmuldenparameter als auch diverse Strukturmodelle ein.

Dipl.-Ing. Dr. Rodrigo Díaz Flores
rodrigo.diaz@tuwien.ac.at

Beitrag über Entwicklungen im Bereich der RVS

Überarbeitung der RVS o8.16.03 – Anforderungen an Halbstarre Deckschichten (HSD)

Mit 1. September 2023 wurde die überarbeitete Version der – die Herstellung von sogenannten halbstarren Deckschichten (HSD) regelnden – RVS o8.16.03 veröffentlicht.

Die Überarbeitung der RVS wurde aufgrund neuer/aktualisierter Regelwerke (RVS, Normen, udgl.), zwischenzeitlich erlangten Erfahrungen aus der Praxis sowie notwendig gewordener Anpassungen an den Stand der Technik erforderlich.

Eine halbstarre Deckschicht (Bild 3) im Sinne der gegenständlichen RVS besteht aus ei-

nem hohlraumreichen Asphaltträgergestell (Offenporiger Asphalt der Sorte „PA“ vom Typ „P4“ gem. RVS o8.97.05) und einem speziel-



Bild 3: Schnitt durch eine vollständig vermörtelte HSD

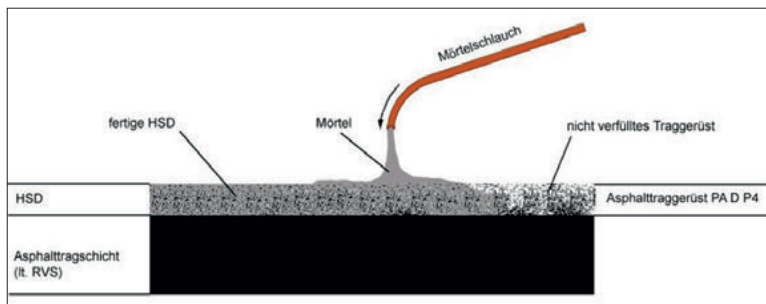
len Hochleistungsfließmörtel (Schema siehe Bild 5).

Der Hochleistungsfließmörtel ist ein Trockenmörtel der, wie andere Mörtel, aus einem Bindemittel (z. B. Zement), Gesteinskörnung, Zusatzstoffen und Zusatzmittel sowie Zugabe-



Bild 4: Fugenanordnung bei Einbauten

Bild 5: Schema HSD



wasser (Anmachwasser) besteht und mittels Mörtelschlauch aufgetragen wird.

Das im ersten Arbeitsgang hergestellte hohlraumreiche Asphaltträgerüst wird in einem zweiten Arbeitsgang mit dem Mörtel verfüllt. Die Einzelkomponenten Asphaltträgerüst und Mörtel ergeben erst im Verbund die HSD (siehe nachstehende Abbildungen). Wesentlich und zwingend erforderlich ist hierbei, dass die zugänglichen Hohlräume des Asphaltträgerüsts in der gesamten Schichtdicke mit dem Mörtel vollständig vermörtelt sind.

Wesentliche Neuerungen und Abänderungen in der RVS

Die bisherige Unterscheidung von Mörtel-Festigkeitsklassen (Klasse I und II) wurde gestrichen. Dementsprechend wurden die Parameter für die Anforderungen und die Erstprüfung des Festmörtels angepasst. In der Erstprüfung wird verlangt, dass nur CE-gekennzeichnete Ausgangsstoffe verwendet werden dürfen. Die Erstprüfung des Mörtels ist durch eine akkreditierte Prüfstelle durchzuführen, die Prüfbestimmungen sind in der RVS gelistet.

Tabelle 1 enthält eine aktualisierte Aufstellung mögliche Mischverfahren und Dosiergenauigkeiten. Die überarbeitete RVS enthält geänderte Anforderungen an Trocken-, Frisch- und Festmörtel, die sowohl in der Erstprüfung als auch in den Abnahmeprüfungen Auswirkungen haben. Im Zuge der Abnahmeprüfungen sind verschiedene Kennwerte zu bestimmen, beispielsweise beim Frischmörtel die Marshzeit und die Frischmörtelrohddichte.

Ergänzende Festlegungen für die Ausführung einer HSD im Anschlussbereich an niveaugleiche Fahrbahnübergangskonstruktion (FÜK) bzw. an sogenannte starre Einbauten wurden in der RVS unter Pkt. 4.4 aufgenommen. Bei den Anschlüssen an starre Einbauten ist eine Überhöhung von 3–8 mm vorzusehen.

Zum Thema „Nachbehandlung“ wurde das Erfordernis des „Feuchthalten“ der HSD-Oberfläche neu aufgenommen und beschrieben und in Bezug auf die Verkehrsfreigabe auch entsprechend eingearbeitet. Das Feuchthalten kann zum Beispiel durch das Aufstellen einer Bewässerungsanlage erreicht werden, ein Wasserfilm soll die HSD komplett bedecken. Weiters ist für eine entsprechende Nachbehandlung (Verdunstungsschutz, Bauschutzmatte) zu sorgen.

Zwecks leichter Lesbarkeit wurden in der RVS die Anforderungen an die Oberflächeneigenschaften, Prüfumfang und Prüfhäufigkeit am Ende der Gewährleistungsfrist nach Bundesstraßen A u. S sowie B u. L getrennt dargestellt.

Zu allfällig auftretenden, feinen Rissen (Rissbreiten $\leq 0,2$ mm) sowie Risse generell wurde – unter Pkt 7.2 der überarbeiteten RVS – eine Beschreibung/Erläuterung hinsichtlich bautechnisch relevanter Einschätzung (Beurteilung) eines etwa vorliegenden, relevanten Mangels formuliert. Risse sind jedenfalls dann als Mangel anzusehen, wenn die HSD den Nutzungsanforderungen beispielsweise bei Dichtheitsanforderungen nicht entspricht.

Aktualisierte bzw. weitere ergänzende, baupraktische Hinweise z. B. in Bezug auf allfälliges Eindringen von Regenwasser in das Asphaltträgerüst, hinsichtlich Verlegung der HSD auf geeigneten Unterlagen oder zum Mörtel einbau selbst, wurden verschiedentlich unter den jeweiligen Unterpunkten zum Pkt. 4 (Herstellung der Halbstarren Deckschicht) angeführt. Eine Anpassung der Fugenanordnung z. B. bei Einbauten ist eine neue Darstellung (Schächten, siehe Bild 4) aufgenommen worden.

Dipl.-Ing. (FH) Peter Riederer
peter.riederer@bps.at

Tabelle 1: Mögliche Mischverfahren und Dosiergenauigkeit

Fläche / Dosiergenauigkeit	Händisch	Putzmaschine	Silo
Fläche bis 50 m ²	+	+	+
Fläche bis 500 m ²	–	+	+
Fläche über 500 m ²	–	–	+
Dosiergenauigkeit (Wasser und Trockenmörtel)	4 M.-% oder genauer	4 M.-% oder genauer	1 M.-% oder genauer

Kommende Veranstaltungen und Seminare

FSV-Tagung

FSV-Verkehrstag 2024 mit Fachaussstellung
20.6.2024
Vienna Marriott Hotel, 1010 Wien

FSV-Infonachmittag

Pflasterstein- und Pflasterdecken, Randeinfassungen
21.3.2024
FSV, 1040 Wien und Webinar

Basisseminar Verkehrssicherheit
5., 12., und 19.4.2024
FSV, Webinar

FSV-Schulung

Brückeninspektoren – Aufbaulehrgang
22.–24.4.2024
FSV, 1040 Wien

Nähere Informationen zu diesen und weiteren Veranstaltungen und eine Online-Anmelde-möglichkeit finden Sie auf unserer Homepage www.fsv.at.

In der nächsten Ausgabe ...

... erwartet Sie ein Bericht über geothermische Nutzungen bei Bohrfahrlwänden.

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
<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.

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!