

ENDBERICHT

Projektnummer oder Projekttitel: Entwicklung der SCSC-Platte als extrem schlanke Fahrbahnplatte für Eisenbahnbrücken

Richtwert für den Umfang: 10 bis 20 Seiten

1 ZIELE UND ERGEBNISSE

- Vergleichen Sie die erreichten Ergebnisse mit den Zielen, die dem Förderungsvertrag zugrunde liegen. Wurden die Ziele erreicht?
- Beschreiben Sie „Highlights“ und aufgetretene Probleme bei der Zielerreichung.

Ziele – erreichte Ergebnisse:

Ziel: Durchführung von 9 Längsversuchen:

Im dritten Forschungsjahr wurden alle 9 Längsversuchskörper zur Untersuchung der Tragfähigkeit der SCSC-Sandwichplatte quer zu den Dübelleisten erfolgreich getestet. Die Auswertung und die Anpassung der Finite-Elemente-Modelle an die Versuchsergebnisse erfolgt im vierten Forschungsjahr.

Ziel: Durchführung von 18 neubetonierten Kleinversuchen (ohne Zug aus der Haupttragwirkung):

Bis zum verlängerten Ende des 3. Forschungsjahres konnten 14 Kleinversuche durchgeführt werden. Die restlichen 4 Kleinversuche sind für den Beginn des 4. Forschungsjahres geplant.

Ziel: Entwicklung von Verfahren zur Bestimmung des Schadensäquivalenzfaktors λ parallel und quer zu den Dübelleisten sowie des dynamischen Beiwertes Φ_2 :

Beide Ziele wurden vollständig erreicht. Letzteres Ziel wurde erst im dritten Forschungsjahr definiert.

Ziel: Durchführung der Versuche zum Einbau der Hauptbewehrung:

Die Versuche sind erfolgreich durchgeführt worden. Das Ergebnis ist in Form eines Videoberichtes dokumentiert.

Highlight 1:

Im zweiten Forschungsjahr wurde ein wichtiger Meilenstein erreicht: Die Erstellung des **¼-Brückenmodells** in Abaqus. Mit seinen 8 Millionen finiten Elementen übertrifft dieses Modell bei weitem die üblichen Größen im Bereich der Bauingenieurforschung. Die Ergebnisse dieser Analyse ermöglichen eine präzisere Beantwortung einer Vielzahl von Forschungsfragen und machen viele zuvor angenommene Näherungen überflüssig.

Im Lauf des dritten Forschungsjahres wurde dieses Modell zur Bearbeitung weiterer Forschungsfragen eingesetzt, wie z. B. zur Bestimmung der **Schadensäquivalenzfaktoren λ** parallel und quer zu den Dübelleisten sowie des **dynamischen Beiwertes Φ_2** . Diese Werte wurden in den bisherigen Untersuchungen seit Beginn der ersten Forschungstätigkeiten an der SCSC-Sandwichplatte näherungsweise anhand der einschlägigen Normen angenommen. Die neuen Werte weichen teilweise deutlich von den bisher angenommenen Werten ab.

Highlight 2:

Zu Beginn des Forschungsprojektes zur Untersuchung von SCSC-Sandwichplatten für Trog- und Plattenbrücken standen verschiedene technische Herausforderungen im Vordergrund. Eine dieser Herausforderungen bestand darin, ein tiefes Verständnis sowie eine klare Beschreibung des Tragprinzips parallel zu den Dübelleisten im Anwendungsfall Trogbrücke zu entwickeln.

Das ursprünglich vorgestellte Tragprinzip parallel zu den Dübelleisten der SCSC-Sandwichplatte im Anwendungsfall Plattenbrücke (wobei die Schubkraft zwischen den äußeren Stahlblechen durch die Aktivierung von diagonal verlaufenden, horizontalen Betondruckstäben zwischen benachbarten Dübelleisten übertragen wird) wurde bereits vor Beginn dieses FFG-Projektes in statischen Plattenversuchen von Frau Steurer bestätigt. Diese Versuche wurden mit realitätsnahen Stützweiten von 4,08 m im Maßstab 1:1 durchgeführt.

Da jedoch im Anwendungsfall Trogbrücke die Platte den Untergurt der Brücke bildet und somit maßgeblich zur Haupttragwirkung der Brücke beiträgt, wird die Platte auf Zug beansprucht. Dies führt zu Zugspannungen und Rissbildung im Betonkern, was wiederum zu einer möglichen Änderung des Tragprinzips parallel zu den Dübelleisten führen kann.

Durch äußerst präzise FE-Modellierung und Berechnung im Rahmen einer umfangreichen Parameterstudie [10] konnte das komplexe Tragverhalten auch bei Trogbrücken genau analysiert und durch eine Handvoll einfacher Tragwirkungen im ingenieurtechnischen Sinne ausreichend genau beschrieben werden. Auf Basis dieses Verständnisses wurden **ingenieurmäßige Bemessungsmodelle** erstellt, die zur Vereinfachung der Dimensionierung in praxisnäheren FE-Programmen wie R-FEM dienen.

2 ARBEITSPAKETE UND MEILENSTEINE

2.1 Übersicht

Geben Sie in den folgenden Tabellen den Projektfortschritt je Arbeitspaket (bezogen auf den Förderzeitraum) und je Meilenstein an und führen Sie stichwortartig an, wo es zu Abweichungen gekommen ist.

Eine ausführlichere Beschreibung ist unter Punkt 2.2 möglich.

*Die angegebenen Prozentsätze beziehen sich auf den geplanten Förderungszeitraum von **51 Monaten**.*

Tabelle 1: Fortschritt der Arbeitspakete (AP)

AP	Bezeichnung	Fortschritt	Ergebnisse, Abweichungen, Verzögerungen
1	Projektmanagement	75%	Laufend bis zum Ende des zusätzlich beantragten vierten Forschungsjahres.
2	Wissenschaftliche Leitung	75%	Laufend bis zum Ende des zusätzlich beantragten vierten Forschungsjahres.
3	Voruntersuchungen	100%	Keine Abweichungen
4	Biaxialversuche	80%	Die im dritten Forschungsjahr geplanten drei Biaxialversuche konnten noch nicht durchgeführt werden. Dies resultierte aus der zeitlichen Bindung der ProjektmitarbeiterInnen in anderen Arbeitspaketen (AP6, AP7 und AP8), die vorrangig bearbeitet werden mussten und unvorhergesehen wesentlich mehr Ressourcen erforderten.
5	"Plexiglas"-Versuche	100%	Keine Abweichungen

AP	Bezeichnung	Fortschritt	Ergebnisse, Abweichungen, Verzögerungen
6	Kleinversuche für den Anwendungsfall Plattenbrücke	90 %	Von den 18 geplanten Kleinversuchen konnten bis zum verlängerten Ende des dritten Forschungsjahres 14 Kleinversuche durchgeführt werden. Die Verzögerungen resultierten zum Teil aus notwendigen Änderungen in der Versuchsdurchführung, unvorhersehbaren technischen Schwierigkeiten im Prüflabor und dem daraus resultierenden erhöhten Zeitaufwand für die Durchführung und Auswertung der Versuche. Letzteres resultierte vor allem aus der erstmaligen Anwendung neuer Prüfmethode n wie der faseroptischen Messung im Inneren des Betons mit dem System Luna ODiS. Die restlichen 4 Kleinversuche sind zu Beginn des vierten Forschungsjahres geplant.

AP	Bezeichnung	Fortschritt	Ergebnisse, Abweichungen, Verzögerungen
7	Versuche für den Anwendungsfall Trogbrücke und Versuche zur Untersuchung der Tragwirkung der SCSC-Platte quer zu den Dübelleisten	100%	Versuche für den Anwendungsfall Trogbrücke: Zu Beginn des dritten Forschungsjahres wurden zwei neue Versuchskonzepte entwickelt, um die Interaktion zwischen der Dehnung aus der Haupttragwirkung und der Tragwirkung parallel zu den Dübelleisten zyklisch zu untersuchen: das zyklische biaxiale Versuchskonzept und ein neues Kleinversuchskonzept (Typ C und Typ D). Aufgrund unvorhergesehener Schwierigkeiten bei der Planung und Umsetzung der Versuchsaufbauten für die zyklischen Biaxialversuche sind beide Konzepte gescheitert. Für das vierte Forschungsjahr wird daher ein alternatives, nicht-experimentelles Nachweiskonzept angestrebt, um die Interaktion der beiden Tragwirkungen zu untersuchen. Diese Entwicklung ist entscheidend für das Erreichen des Projektziels. Versuche zur Untersuchung der Tragwirkung der SCSC-Platte quer zu den Dübelleisten: Im November 2023 wurde der neunte Versuchskörper geprüft. Damit sind alle Versuche zur Untersuchung der Tragfähigkeit quer zu den Dübelleisten abgeschlossen. Im vierten Forschungsjahr werden die Messwerte detailliert ausgewertet und die Finite-Elemente-Modelle an die Versuchsergebnisse angepasst.

AP	Bezeichnung	Fortschritt	Ergebnisse, Abweichungen, Verzögerungen
8	Ingenieurmodelle für den Anwendungsfall Plattenbrücke und für den Anwendungsfall Trogbrücke	70%	Im Rahmen des Zwischenberichts zum dritten Forschungsjahr wurden die ersten Ingenieurmodelle für die Anwendungsfälle Platten- und Trogbrücken parallel und quer zu den Dübelleisten vorgestellt. Diese Modelle spielen im Rahmen des Forschungsvorhabens eine wesentliche Rolle. Ihre Plausibilität und einfache Anwendbarkeit sind von entscheidender Bedeutung. Aus diesem Grund werden diese Modelle bis zum Abschluss des Projektes kontinuierlich weiterentwickelt und verfeinert. Die Modelle beruhen auf Parametern, die zunächst im Zuge der experimentellen Untersuchungen, wie im AP6 beschrieben, ermittelt werden müssen.
9	Sonderthemen	100%	Das zum Zeitpunkt der Antragstellung formulierte Sonderthema „Untersuchungen zur Anwendung der SCSC-Platte als alleiniges Tragelement für Eisenbahnbrücken mit kurzen Spannweiten (Plattenbrücken)“ hat inzwischen erheblich an Bedeutung gewonnen und findet sich bereits in drei weiteren Arbeitspaketen (AP6, AP7, AP8) wieder. Das Sonderthema Entwicklung von Verfahren zur Ermittlung der Schadensäquivalenzfaktoren λ parallel und quer zu den Dübelleisten der SCSC-Sandwichplatte als Fahrbahnelement einer Trogbrücke wurde im dritten Forschungsjahr vollständig abgeschlossen.
10	Projektdokumentation und Empfehlungen / Regelungsvorschläge für die Praxis	75%	Die Projektdokumentation und Die Empfehlungen / Regelungsvorschläge für die Praxis werden laufend aktualisiert. Ein Abschluss ist daher zum Ende des vierten Forschungsjahres vorgesehen.

Tabelle 2: Meilensteine (MS, falls definiert)

MS	Bezeichnung	bisheriger Termin	Ergebnisse, Abweichungen, Verzögerungen
1	Klicken oder tippen Sie hier, um Text einzugeben.	01/2022	Klicken oder tippen Sie hier, um Text einzugeben.
...			

2.2 Beschreibung der durchgeführten Arbeiten

- Beschreiben Sie die im Berichtszeitraum durchgeführten Arbeiten aller beteiligten Partner, strukturiert nach den Arbeitspaketen.
- Konnten die Arbeitsschritte und -pakete gemäß Plan erarbeitet werden? Wo gab es wesentliche Abweichungen?

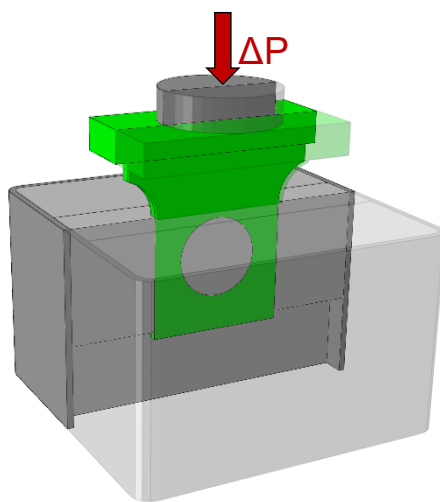
AP1: Projektmanagement

Während der Projektlaufzeit wurden laufend Kurzberichte für die ÖBV-Vorstandssitzungen, die kaufmännische Koordination und die Zwischensitzungen des Projektkonsortiums erstellt und entsprechende Präsentationen vorbereitet.

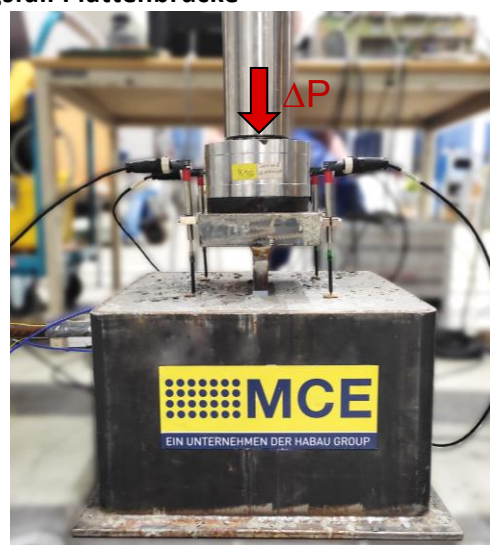
AP2: Wissenschaftliche Leitung

Das Projekt wurde intern wissenschaftlich, inhaltlich und terminlich koordiniert, das Projektcontrolling durchgeführt und das Berichtsmanagement ohne Abweichungen umgesetzt.

AP 6: Kleinversuche für den Anwendungsfall Plattenbrücke



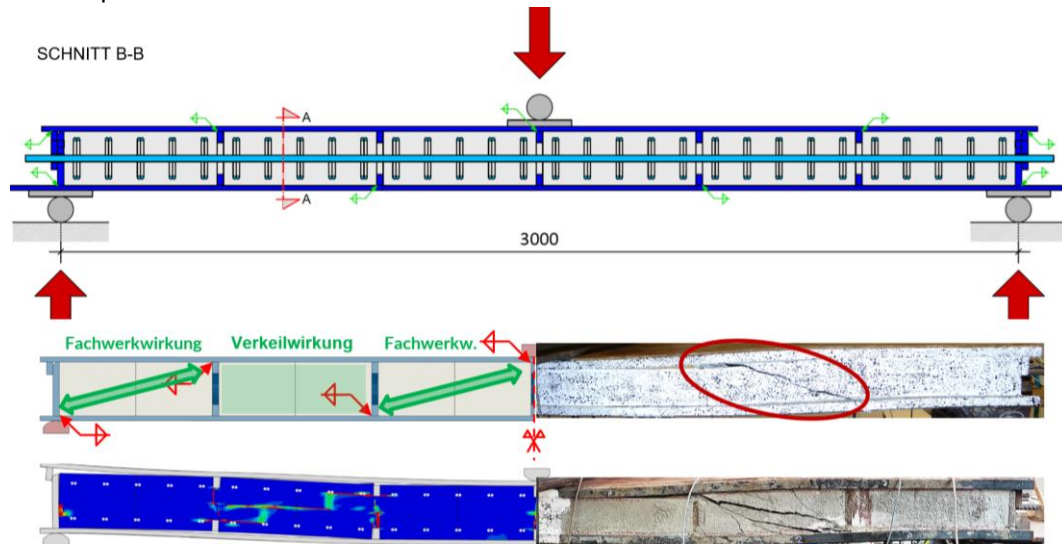
FE-Modell Kleinversuchskörper



Versuchsaufbau

AP 7: Versuche für den Anwendungsfall Trogbrücke und Versuche zur Untersuchung der Tragwirkung der SCSC-Platte quer zu den Dübelleisten

Ergebnisbeispiel zu den Versuchen zur Untersuchung der Tragwirkung der SCSC-Platte quer zu den Dübelleisten:



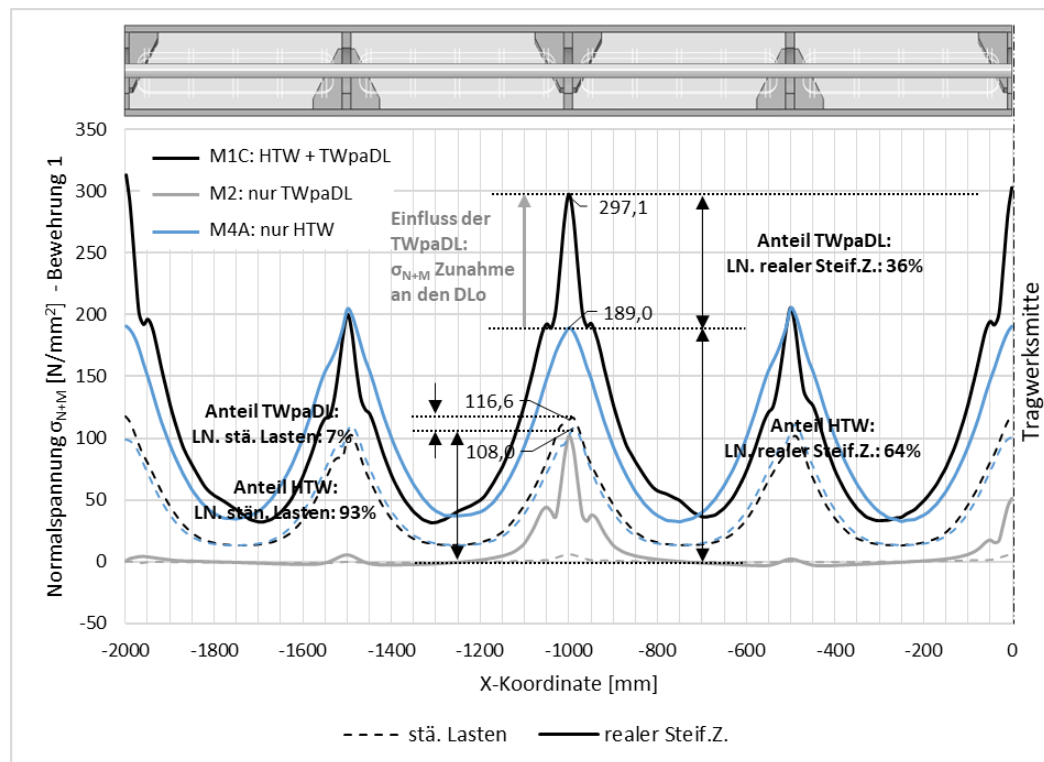
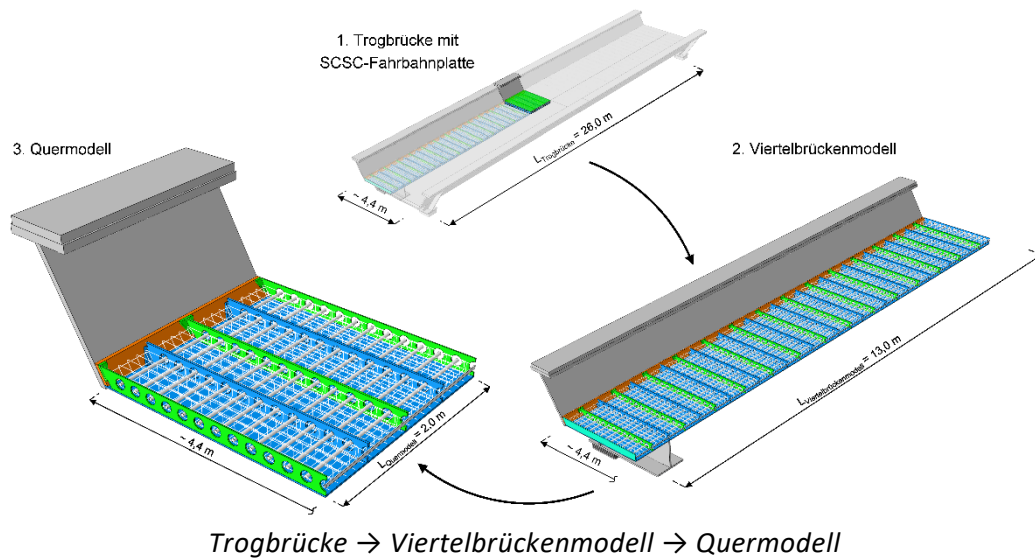
Versuchsaufbau – Tragmechanismus – Vergleich FE- und Versuchsergebnis



Versagen des Versuchskörpers 4

AP8: Ingenieurmodelle für den Anwendungsfall Plattenbrücke und für den Anwendungsfall Trogbrücke

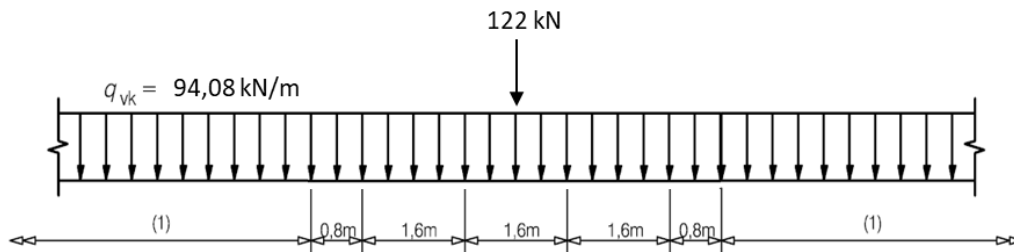
Ein Schwerpunkt der Untersuchungen lag auf dem Nachweis der Ermüdungsfestigkeit der Hauptbewehrung. Durch eine umfangreiche FE-Parameterstudie an sogenannten Quermodellen (Ausschnitt von der Trogbrücke) [10] war es möglich, die Spannungskomponenten der einzelnen Tragwirkungen zu quantifizieren.



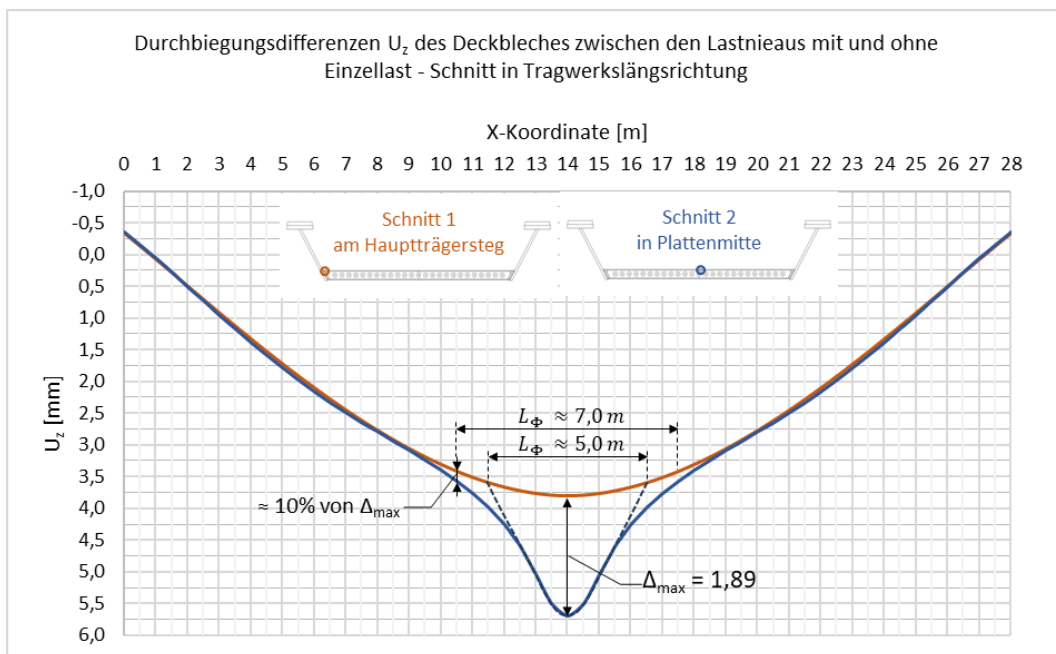
Normalspannung des Bewehrungsstabes 1 (in der Nähe des Hauptträgersteges) entlang des Brückenausschnitts

AP9: Sonderthemen

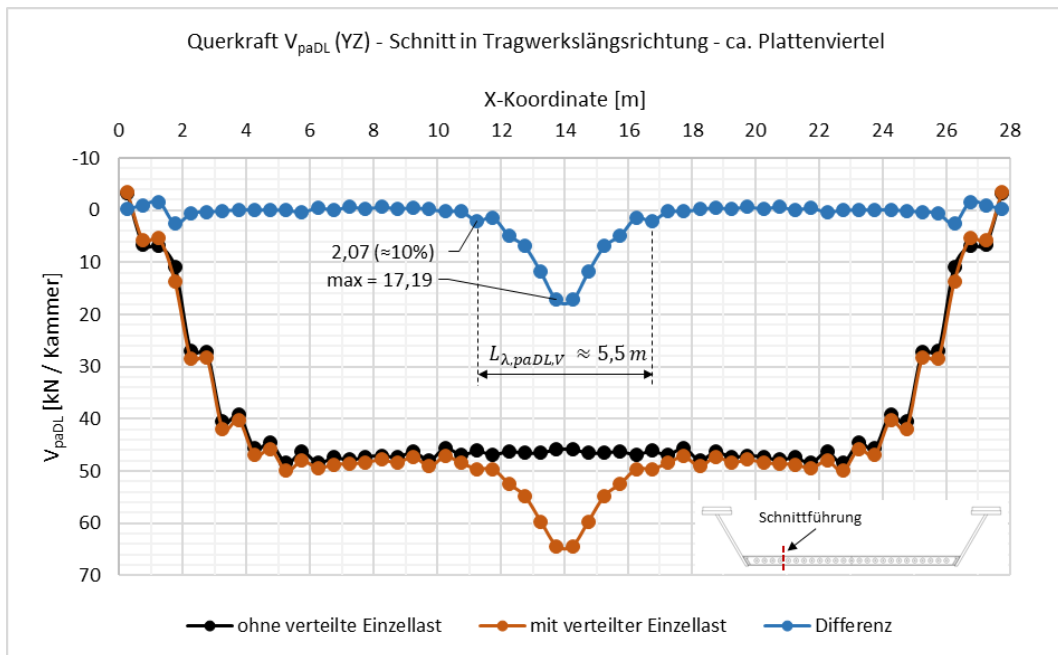
Beispielhafte Darstellung zur Ermittlung des dynamischen Beiwertes Φ_2 und des Schadensäquivalenzfaktors λ parallel zu den Dübelleisten:



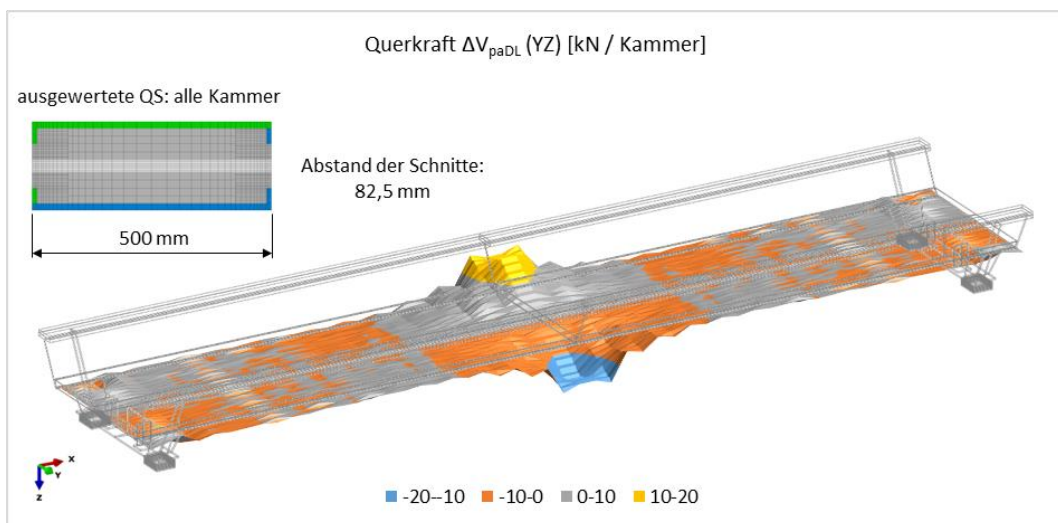
Umgewandeltes Lastmodell 71 zur Ermittlung der „Einflusslinienlänge“



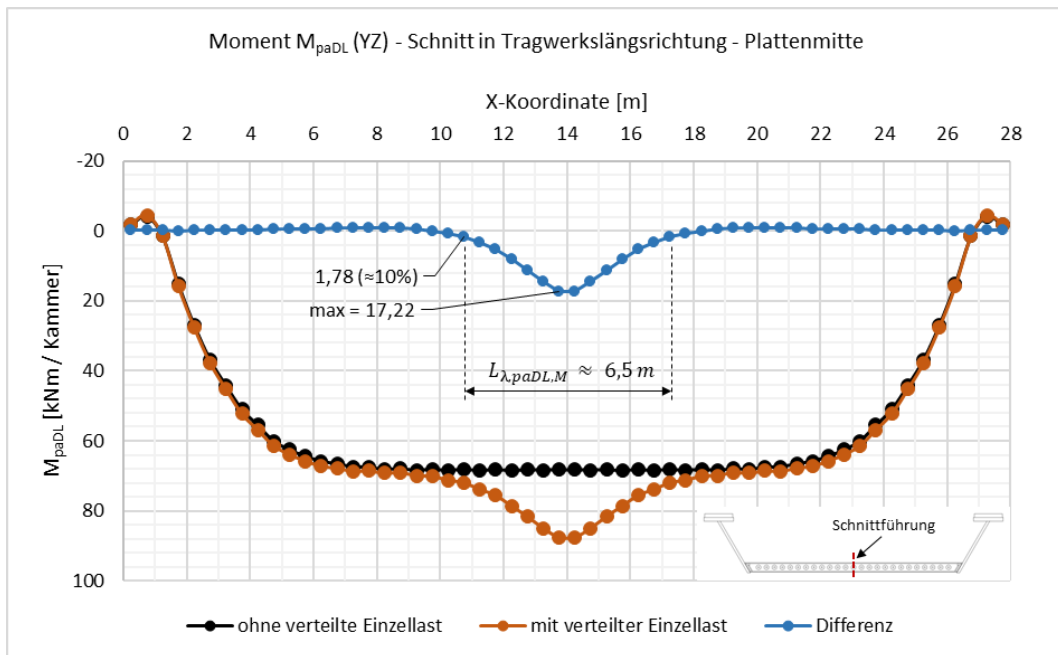
Durchbiegungsdifferenzen zwischen den Lastniveaus mit und ohne Einzellast in zwei Schnitten zur Ermittlung des dynamischen Beiwertes Φ_2



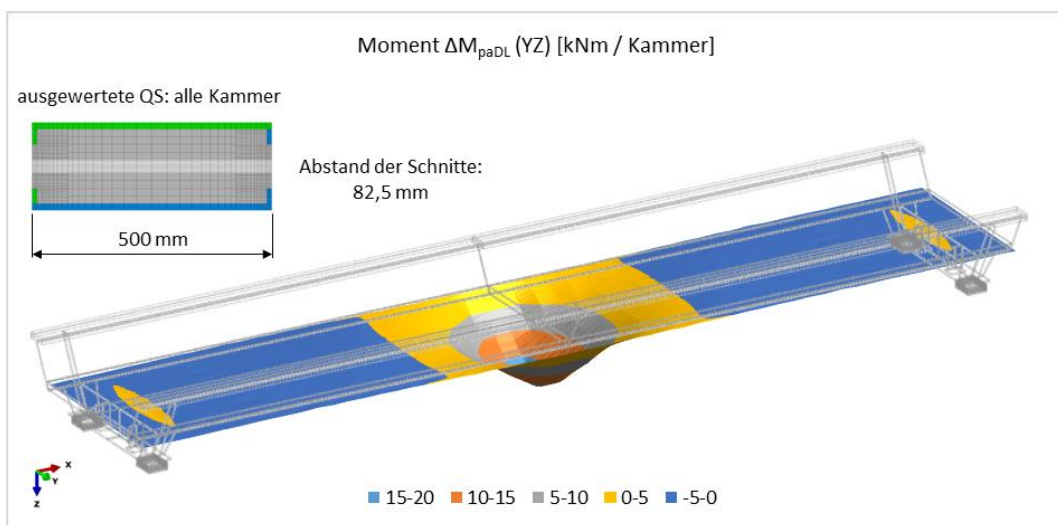
Querkraft V_{paDL} ausgewertet circa im Viertelpunkt der Platte über die Tragwerkslänge



Querkraftdifferenzen ΔV_{paDL} über die gesamte Trogbrücke



Moment M_{paDL} ausgewertet circa im Plattenmitte über die Tragwerkslänge



Biegemomentendifferenz ΔM_{paDL} über die gesamte Trogbücke

3 PROJEKTTEAM UND KOOPERATION

- Gab es wesentliche Veränderungen im Projektteam (interne Schlüsselmitarbeiter*innen und Dritteileister)?
- Bei Konsortialprojekten und Forschungsk Kooperationen: Beschreiben Sie die Zusammenarbeit im Konsortium.

Das Schlüsselpersonal besteht weiterhin aus den im Angebot angeführten Mitarbeitern. Die Zusammenarbeit zwischen der Projektleitung (Österreichische Bautechnik Vereinigung), dem wissenschaftlichen Partner (TU Wien, Institut für Tragkonstruktionen – Forschungsbereich Stahlbau) und den beteiligten Bauherren, Verbänden, Bauunternehmen und Ingenieurbüros verläuft reibungslos.

4 WIRTSCHAFTLICHE UND WISSENSCHAFTLICHE VERWERTUNG

- Beschreiben Sie die bisherigen Verwertungs- bzw. Weiterverbreitungsaktivitäten. Ist eine Verwertung möglich?
- Listen Sie Publikationen, Dissertationen, Diplomarbeiten sowie etwaige Patentmeldungen, die aus dem Projekt entstanden sind, auf.
- Welche weiterführenden F&E-Aktivitäten sind geplant?
- Wie werden die im Projekt geschaffenen Prototypen weiterverwendet?

Im Rahmen des Forschungsprojektes wurden bis zum Ende des dritten Forschungsjahres zehn Diplomarbeiten veröffentlicht, während drei weitere noch in Bearbeitung sind.

- [1] Fruhmann, M., *Herstellung von Trogbrücken mit SCSC-Fahrbahnplatten*, Diplomarbeit, Institut für Tragkonstruktionen - Stahlbau, TU Wien, Österreich, 2020.
- [2] Lorenz, S., *Ausgewählte Detailanalysen zur Anwendung der SCSC-Platte als Plattenbrücke*, Diplomarbeit, Institut für Tragkonstruktionen - Stahlbau, TU Wien, Österreich, 2021.
- [3] Pichler, F., *Schnittgrößenanalyse einer Trogbrücke mit SCSC-Fahrbahnplatte*, Diplomarbeit, Institut für Tragkonstruktionen - Stahlbau, TU Wien, Österreich, 2021.
- [4] Hasenbichler, T.; Hestmann, A., *Längstragwirkung der SCSC-Platte*, Diplomarbeit, Institut für Tragkonstruktionen - Stahlbau, TU Wien, Österreich, 2021.
- [5] Holyevác, G., *FE-Untersuchung der Auswirkungen der Haupttragwirkung auf die SCSC-Platte als Fahrbahnplatte einer Trogbrücke anhand von*

- Biaxialversuchen*, Diplomarbeit, Institut für Tragkonstruktionen - Stahlbau, TU Wien, Österreich, 2021.
- [6] Kneidinger, L., *Entwicklung einer ingenieurpraktikablen Modellierung der SCSC-Platte als Fahrbahnelement einer Trogbrücke mittels RFEM*, Diplomarbeit, Institut für Tragkonstruktionen - Stahlbau, TU Wien, Österreich, 2022.
- [7] Egly, P., *Untersuchungen zur Quertragwirkung der SCSC-Platte als Fahrbahndeck einer Trogbrücke*, Diplomarbeit, Institut für Tragkonstruktionen - Stahlbau, TU Wien, Österreich, 2022.
- [8] Spreitzer, S., *Dokumentation und Auswertung von Versuchen im Zusammenhang mit dem Forschungsthema SCSC-Platte*, Diplomarbeit, Institut für Tragkonstruktionen - Stahlbau, TU Wien, Österreich, 2022.
- [9] Horeschy, L., *Weiterführende Untersuchungen über die Anwendung der SCSC-Platte als Plattenbrücke*, Diplomarbeit, Institut für Tragkonstruktionen - Stahlbau, TU Wien, Österreich, 2022.
- [10] Schuster, M., *Untersuchungen der Haupt- und Quertragwirkung einer Trogbrücke mit SCSC-Fahrbahnplatte*, Diplomarbeit, Institut für Tragkonstruktionen - Stahlbau, TU Wien, Österreich, 2023.
- [11] Schippani, M., *Entwicklung einer ingenieurpraktikablen Modellierung der SCSC-Platte als Fahrbahnelement einer Trogbrücke mittels RFEM*, Diplomarbeit in Bearbeitung, Institut für Tragkonstruktionen - Stahlbau, TU Wien, Österreich.
- [12] Beranek, D., *Entwicklung eines umfassenden Bemessungskonzeptes für eine SCSC-Plattenbrücke basierend auf einer dreidimensionalen FE-Analyse*, Diplomarbeit in Bearbeitung, Institut für Tragkonstruktionen - Stahlbau, TU Wien, Österreich.
- [13] Hacker, T., *Konstruktive Lösungsansätze zur Reduzierung der Normalspannungsschwingbreite in der Hauptbewehrung von Trogbrücken mit SCSC-Fahrbahnplatten*, Diplomarbeit in Bearbeitung, Institut für Tragkonstruktionen - Stahlbau, TU Wien, Österreich.

Darüber hinaus wurden drei Zeitschriftartikel veröffentlicht:

- [14] Palotás, B.; Takács, P.; Fink, J., *Simulation of the SCSC plate with a spring framework model including the effects of inelastic slip*, Steel Construction, Vol, 14, No. 2, P. 83-94., 2021.
- [15] Aigner, F.; Fink, J.; Takács, P., *Schadensäquivalenzfaktoren für Fahrbahnplatten stählerner Eisenbahnbrücken*, Stahlbau 92, H. 6, S. 367–380. <https://doi.org/10.1002/stab.202200007>, 2023.
- [16] Aigner, F.; Fink, J.; Takács, P., *Complete modified notch functions for a welded detail of a trough bridge*, Steel Construction 16, No. 3, pp. 167–179., <https://doi.org/10.1002/stco.202200043>, 2023.

Für das vierte Forschungsjahr sind zahlreiche Veröffentlichungen in deutsch- und in englischsprachigen Fachzeitschriften geplant.

5 ERLÄUTERUNG ZU KOSTEN UND FINANZIERUNG

Beschreiben und begründen Sie wesentliche aufgetretene Abweichungen vom Kostenplan.

Die notwendige Verlängerung des Forschungsprojektes um 3 Monate kostenneutral im 3. Forschungsjahr und ein zusätzliches Forschungsjahr führte zu einer gezielten Kostenminimierung im dritten Forschungsjahr. Diese Kosteneffizienz und die zusätzliche Unterstützung durch den Bauherrn ÖBB und die Firmen HABAU-MCE GmbH und Doka Österreich GmbH ermöglichen eine reibungslose und effiziente Umsetzung der geplanten Aktivitäten im vierten Forschungsjahr.

Im dritten Forschungsjahr wurden die geplanten InKind-Leistungen der Firma Strabag/Swietelsky nicht in Anspruch genommen. Die restlichen InKind-Leistungen dieser Firmen werden planmäßig im vierten Forschungsjahr verbraucht.

Dem Bauherrn ÖBB und den Firmen HABAU-MCE GmbH und Doka Österreich GmbH sei für die über das geplante Maß hinausgehende Unterstützung in Form von finanziellen Mitteln und/oder InKind-Leistungen herzlich gedankt, die wesentlich zum Erfolg des Forschungsprojektes beitragen.

6 PROJEKTSPEZIFISCHE SONDERBEDINGUNGEN UND AUFLAGEN

Falls im Förderungsvertrag projektspezifische Sonderbedingungen und Auflagen vereinbart wurden, gehen Sie bitte konkret auf die Erfüllung der noch offenen Sonderbedingungen und Auflagen ein.

Schriftliche Nachweise können im eCall hochgeladen werden.

Besondere Förderungsbedingungen:

Die Projektergebnisse sind zu veröffentlichen. Die Veröffentlichungsschrift ist dem Endbericht beizulegen.

Alle Ergebnisse werden zusätzlich unter www.bautechnik.pro veröffentlicht.

7 MELDUNGSPFLICHTIGE EREIGNISSE

Gibt es besondere Ereignisse rund um das geförderte Projekt, die der FFG mitzuteilen sind? Beispielsweise

- Änderungen der rechtlichen und wirtschaftlichen Einflussmöglichkeiten bei den Fördernehmer*innen,
- Insolvenzverfahren,
- Ereignisse, die die Durchführung der geförderten Leistung verzögern oder unmöglich machen,
- Weitere Förderungen für die im Projekt abgerechneten Kosten (Mehrfachförderung).

keine