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 Förderungs-vertrag zugrunde liegen. Wurden die Ziele erreicht?
- Beschreiben Sie „Highlights“ und aufgetretene Probleme bei der Zielerreichung.

Ziele – erreichte Ergebnisse:

Gemäß der Leistungsbeschreibung *„Entwicklung der SCSC-Platte als extrem schlanke Fahrbahnplatte für Eisenbahnbrücken“* gehören neun Arbeitspakete (nachfolgend abgekürzt als AP) teilweise oder vollständig zum ersten Forschungsjahr:

- AP1: Projektmanagement
- AP2: Wissenschaftliche Leitung
- AP3: Voruntersuchungen und Optimierung des Randbereiches der SCSC-Platte
- AP4: Vorversuche
- AP5: "Plexiglas"-Versuche
- AP6: Klein-Versuche
- AP7: SCSC-Platten-Versuche
- AP8: Ingenieurmodelle für den Anwendungsfall Trogbrücke
- AP9: Ergänzungen und Sonderthemen

Die für das erste Forschungsjahr geplanten Ziele von fünf Arbeitspakete (AP1, AP2, AP5, AP6, AP9) wurden vollständig erreicht.

Mit der Bearbeitung der Arbeitsschritte im AP3 wurde bereits begonnen (Bearbeitungsstand 70%), sie könnten jedoch aufgrund von neuen Erkenntnissen noch nicht abgeschlossen werden und werden im zweiten Forschungsjahr fortgesetzt.

Die Ziele des Arbeitspakets 4 wurden erheblich erweitert und sind noch nicht alle erreicht worden. Es wurden neuartige Versuchskörper entwickelt, mit denen das Tragverhalten der Platte wesentlich realistischer abgebildet werden kann (eine ausführliche Beschreibung ist in Abschnitt 2.2 zu finden). Die zu erwartenden Erkenntnisse aus diesen experimentellen Untersuchungen stellen einen wichtigen Baustein in der Entwicklung eines ingenieurmäßigen Modells der SCSC-Platte dar, wodurch die Verschiebung der Versuchsdurchführungen auf das zweite Forschungsjahr aus wissenschaftlicher Sicht gerechtfertigt ist.

Der Beginn der Bearbeitung von AP7 und AP8 wurde auf das zweite Forschungsjahr verschoben, da die Ergebnisse der im AP4 (Vorversuche) durchgeführten experimentellen Untersuchungen als Eingangsparameter dienen.

„Highlights“:

Als Wesentlich kann die umfassende Bauteil-Modellierung mit der Finiten Elemente-Methode (FEM) sowie die Entwicklung von neuen Versuchskörperarten für die Biaxialversuche genannt werden, mit denen zwei Kraftwirkungen (Zug aus der Haupttragwirkung, Schub aus der Quertragwirkung) gleichzeitig und realitätsnah simuliert werden können.

Ein weiteres wichtiges Ergebnis ist die Durchführung und Auswertung der Plexiglasversuche. Daraus haben wir wichtige Schlussfolgerungen für die Bearbeitung weiterer Arbeitspakete des Forschungsprojekts gezogen.

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 36 Monaten.

Tabelle 1: Fortschritt der Arbeitspakete (AP)

AP	Bezeichnung	Fort-schritt	Ergebnisse, Abweichungen, Verzögerungen
1	Projektmanagement	33%	• Die kaufmännische Koordination unter den Projektpartnern wurde durchgeführt. • Organisation und Abwicklung des Zwischenberichts und der Versuchsvorführung im Gars am Kamp am 28.05.2021 • Organisation und Abwicklung des Endberichts für das erste Forschungsjahr am 05.10.2021

AP	Bezeichnung	Fort-schritt	Ergebnisse, Abweichungen, Verzögerungen
2	Wissenschaftliche Leitung	33 %	• Das Projekt wurde intern, wissenschaftlich, inhaltlich und terminlich koordiniert. • Präsentation im Rahmen des Zwischenberichts und Demonstration eines Plexiglasversuchs im Gars am Kamp • Präsentation im Rahmen des Endberichts

AP	Bezeichnung	Fort-schritt	Ergebnisse, Abweichungen, Verzögerungen
3	Voruntersuchungen und Optimierung des Randbereiches der SCSC-Platte	70 %	Gemäß der Leistungsbeschreibung *„Entwicklung der SCSC-Platte als extrem schlanke Fahrbahnplatte für Eisenbahnbrücken“* gehört AP3 vollständig zum ersten Forschungsjahr. Folgende Ziele des Arbeitspakets wurden im ersten Forschungsjahr vollständig erreicht: • Vordimensionierung des Hauptträgers einer Trogbrücke mit einer Spannweite von 25,65 m • Untersuchung der Längstragwirkung der SCSC-Platte hinsichtlich Steifigkeitsverhalten [Diplomarbeit (nachfolgend abgekürzt als DA) Hasenbichler + Hestmann] Mit folgenden Arbeitsschritten des Arbeitspakets wurden bereits begonnen: • Ermittlung der Beanspruchungen für typische Trogbrücken (DA Pichler) • Untersuchung der Auswirkungen der Haupttragwirkung auf die SCSC-Platte als Untergurt einer Trogbrücke (DA Egly) • Ingenieurpraktikable Modellierung der SCSC-Platte als Fahrbahnelement einer Trogbrücke mittels RFEM (DA Kneidinger) • Optimierung des Randbereiches der SCSC-Platte (DA Egly und DA. Schuster) Anmerkung zu Abweichungen: Auf Grundlage der im ersten Forschungsjahr gewonnenen Erkenntnisse wird die Bearbeitung dieses Arbeitspakets im zweiten Forschungsjahr fortgesetzt.

AP	Bezeichnung	Fort-schritt	Ergebnisse, Abweichungen, Verzögerungen
4	Vorversuche	70 %	AP4 gehört vollständig zum ersten Forschungsjahr. Die in der Leistungsbeschreibung angegebenen Ziele konnten noch nicht vollständig erreicht werden, da die neuen Biaxialversuche weit über die bisher geplanten Vorversuche hinausgehen, sowohl was die Größe der Versuchskörper und den geplanten Umfang der Versuche als auch die Verwertbarkeit der Ergebnisse betrifft. Für weitere Details siehe Abschnitt 2.2.
5	"Plexiglas"-Versuche	100 %	AP5 gehört vollständig zum ersten Forschungsjahr. Folgende Ziele des Arbeitspakets wurden ohne Verzögerung, vollständig erreicht: • Planung, Herstellung und Durchführung der Versuche zur Analyse des Betoniervorganges der SCSC-Platte • Dokumentation der Versuche und Auswertung der Ergebnisse [1] (DA Spreitzer) • Herleitung von Erkenntnissen zum Betoniervorgang von SCSC-Plattenkonstruktionen für verschiedene Anwendungsgebiete

AP	Bezeichnung	Fort-schritt	Ergebnisse, Abweichungen, Verzögerungen
6	Klein-Versuche	40 %	AP6 gehört teilweise (ca. 40%) zum ersten Forschungsjahr. Folgende Ziele des Arbeitspakets wurden vollständig erreicht: • Planung und Herstellung aller (35 Stk.) Klein-Versuchskörper • Durchführung von 12 Dauerschwingversuche zur Untersuchung des zyklischen Kriechverhaltens von Beton • Auswertung der Versuchsergebnisse • Ermittlung von Kenndaten für ingenieurmäßige Modellbildungen (Berücksichtigung des inelastischen Verhaltens von Beton) Die für das erste Forschungsjahr geplanten Ziele wurden somit voll und ganz erreicht. Folgende Arbeitsschritte sind für das zweite Forschungsjahr geplant: • Durchführung von 3 statischen und 20 weiteren Dauerschwingversuchen • Auswertung der neuen Versuchsergebnisse • Ermittlung von weiteren Kenndaten anhand der Versuchsergebnisse für weiterführende Berechnungen und Modellbildungen (statische Tragfähigkeit des Betondübels, Oberlast des Betons unter zyklischer Belastung, Erhöhung der statistischen Aussagekraft des Modells für Stahlermüdung [2])

AP	Bezeichnung	Fort-schritt	Ergebnisse, Abweichungen, Verzögerungen
7	SCSC-Platten-Versuche	0 %	AP7 gehört teilweise (ca. 30%) zum ersten Forschungsjahr. In diesem Arbeitspaket wurden im Rahmen des Antrags des Forschungsprojektes folgende Ziele definiert: • Planung und Herstellung der Versuchsanlage für Versuche mit SCSC-Platten im Maßstab 1:1 • Planung und Herstellung der Versuchskörper im Maßstab 1:1 mit Berücksichtigung der Erkenntnisse aus den Vorversuchen (AP4) • Durchführung und Dokumentation der Versuche, Auswertung der Ergebnisse, Vergleich mit Rechenergebnissen, Ableitung von Kenndaten für Modellbildungen Anmerkung zu Abweichungen: Im Zuge der konkreten Bearbeitung des Forschungsprojektes hat sich herausgestellt, dass mit einer Änderung des Versuchskonzeptes die Forschungsziele erfolgversprechender erreicht werden können. Daher wurden die sogenannten Biaxialversuche entwickelt, die den Rahmen der ursprünglich geplanten Versuche hinsichtlich Aussagekraft erweitern. Mit der Bearbeitung der Arbeitsschritte für SCSC-Platten im Maßstab 1:1 wurde noch nicht begonnen, da die Ergebnisse der experimentellen Untersuchungen im Arbeitspaket 4 (Vorversuche bzw. Biaxialversuche) als Eingangsparameter für die Planung der Großversuche dienen.

AP	Bezeichnung	Fort-schritt	Ergebnisse, Abweichungen, Verzögerungen
8	Ingenieurmodelle für den Anwendungsfall Trogbrücke	0 %	AP8 gehört teilweise (ca. 30%) zum ersten Forschungsjahr. In diesem Arbeitspaket wurde zum Zeitpunkt der Antragstellung das folgende Ziel definiert: • Festlegung und Definition von Ingenieurmodellen zur Ermittlung der Beanspruchungen der SCSC-Platte für die Grenzzustände ULS, SLS und FLS am Beispiel einer typischen Trogbrücke Anmerkung zu Abweichungen: Aufgrund umfangreicher Vorersuche als geplant – nämlich Biaxialversuche zur Erforschung des Tragverhaltens mit Zug aus der Haupttragwirkung – wurde die Entwicklung von Ingenieurmodellen für Trogbrücken als nicht vorrangig erachtet, weil die Ergebnisse der Biaxialversuche abgewartet werden müssen. Im ersten Jahr der Forschung wurde daher mit der Entwicklung von Ingenieurmodellen für den Anwendungsfall Plattenbrücke anstelle von Trogbrücken begonnen, siehe AP9.

AP	Bezeichnung	Fort-schritt	Ergebnisse, Abweichungen, Verzögerungen
9	Ergänzungen und Sonderthemen	30 %	AP9 gehört teilweise (30%) zum ersten Forschungsjahr. Mit folgenden Arbeitsschritten des Arbeitspakets wurden bereits begonnen: • Untersuchungen zur Anwendung der SCSC-Platte als alleiniges Tragelement in Längsrichtung für Eisenbahnbrücken mit kurzen Spannweiten (Plattenbrücken) • Entwicklung von Ingenieurmodellen zur Beschreibung des Tragverhaltens von Plattenbrücken auf Basis der im ersten Jahr erhaltenen Versuchsergebnisse Die für das erste Forschungsjahr geplanten Ziele wurden somit vollständig erreicht. Im zweiten Forschungsjahr wird auch mit der Entwicklung von Verfahren zur Ermittlung des Schädigungsäquivalenzfaktors der SCSC-Platte als Fahrbahnplatte einer Trogbrücke begonnen.
10	Projektdokumentation und Empfehlungen / Regelungsvorschläge für die Praxis	0 %	Die Bearbeitung des Arbeitspakets 10 ist ausschließlich für das dritte Forschungsjahr vorgesehen.

Tabelle 2: Meilensteine (MS, falls definiert)

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

In der detaillierten Leistungsbeschreibung „CR-Projektbeschreibung SCSC-Platte“ wurden keine Meilensteine definiert.

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

Im gegenständlichen Projektzeitraum wurden das Kick-Off Meeting, die Kurzberichte für die ÖBV-Vorstandssitzungen, die kaufmännische Koordination und die Zwischensitzungen des Projektkonsortiums kontinuierlich abgehalten und entsprechende Präsentationen erstellt.

AP2: Wissenschaftliche Leitung

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

AP 3: Voruntersuchungen und Optimierung des Randbereiches der SCSC-Platte

Voruntersuchungen:

Da das Tragverhalten der SCSC-Sandwichplatte für die alleinige Quertragwirkung als Bauteil einer Trogbrücke bzw. als Haupttragelement für eine Plattenbrücke auf Basis früherer Forschungen schon relativ ausführlich analysiert wurde, besteht das vorrangige Ziel zunächst darin, die SCSC-Platte als Tragelement zu entwickeln, das nicht nur der Quertragwirkung, sondern zusätzlich auch der Haupttragwirkung (als Untergurt einer Trogbrücke, auf Zug beansprucht) dient. Hierzu wurde der Hauptträger einer Trogbrücke mit SCSC-Fahrbahnplatte und mit einer Spannweite von 25,56 m vordimensioniert, siehe Abb. 1 und es wurden die notwendigen Angaben (Dehnungszustand etc.) für weitere Analysen zur Tragfähigkeit der SCSC-Platte ermittelt. Die Schnittgrößen, die Spannungen und die Verformungen wurden für Beanspruchungen für die Grenzzustände ULS/SLS/FLS als Eingangsdaten zur Erforschung der Tragmechanismen ermittelt.

Nachdem die Eingangsdaten des Hauptträgerquerschnitts vorlagen, wurden die Untersuchungen zum Thema Schnittgrößenanalyse einer Trogbrücke mit SCSC-Fahrbahnplatte begonnen [4] (DA Pichler).

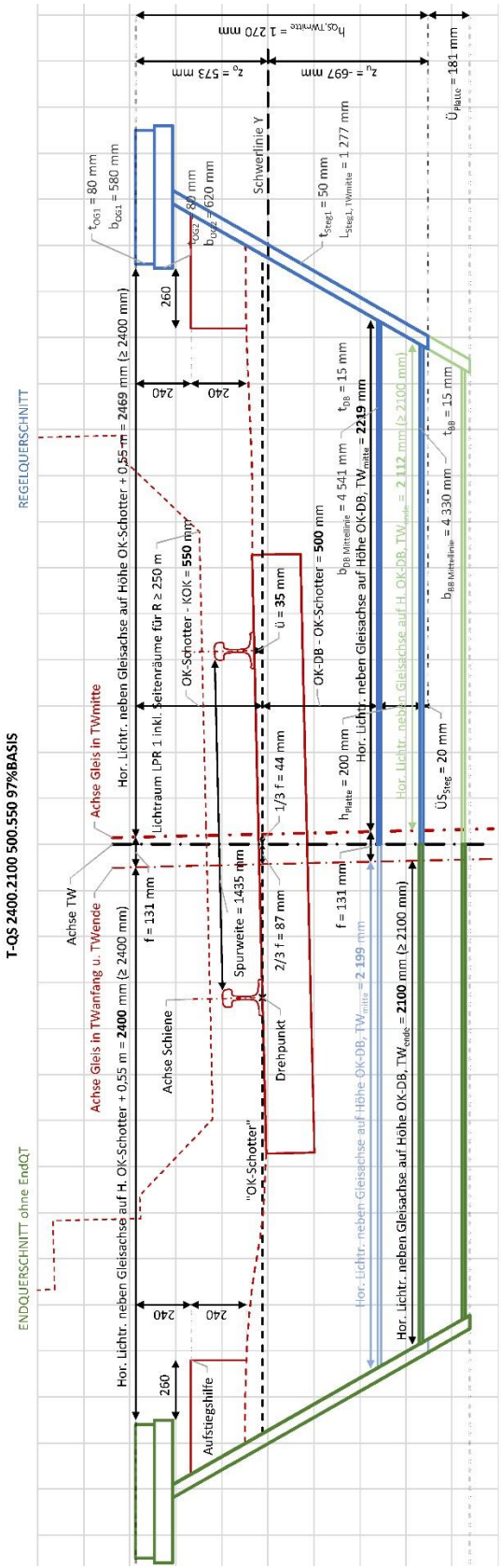

Abb. 1 Vordimensionierung des Querschnitts einer Trogbrücke mit einer Spannweite von 25,56 m und SCSC-Fahrbahnplatte [3]

Die Auswirkungen der Haupttragwirkung (Längsdehnung) auf die Platte wurden anhand von numerischen Modellen (Trogbrückenausschnitte mit einer Länge von 2 m) untersucht [5] (DA Egly). Aus derzeitiger Sicht hat die Längsdehnung aufgrund der behinderten Querkontraktion (SCSC-Platte = mit Beton gefüllter Stahlkasten) der Platte folgende Auswirkungen auf die Quertragwirkung der Platte:

- der Druck nimmt im Deckblech ab;
- der Zug nimmt im Bodenblech zu;
- der Beton wird mehr gedrückt.

Alle diese Effekte wirken sich unerwarteterweise aber dennoch logisch nachvollziehbar positiv auf die Quertragwirkung der Platte aus. Eine steifigkeitsmindernde Wirkung der Längsdehnung aufgrund der Rissbildung im Betondübel (vermutete Auswirkung zu Beginn des Forschungsjahres) konnte mit Hilfe der Abaqus-Modelle zufolge bisheriger Untersuchungen nicht erkannt werden.

Ein weiteres Thema im Rahmen der Voruntersuchungen war die Untersuchung des Tragmechanismus der SCSC-Platte in Längsrichtung der Brücke und Analyse von unterschiedlichen Ausführungsvarianten. Dabei wurden acht Ausführungsvarianten untersucht, die sich durch den Dübelleistenabstand und das Vorhandensein von Bewehrung oder Kopfbolzendübel unterscheiden [6] (DA Hasenbichler-Hestmann). Für die Analyse der Längstragwirkung stellten die Betonschädigung und die Biegesteifigkeit in Längsrichtung wesentliche Kriterien dar. Die wesentliche Erkenntnis dieser Arbeit ist, dass die Biegesteifigkeit der SCSC-Platte in Längsrichtung mit dem aus dem Deck- und Bodenblech gebildeten Zweipunktquerschnitt (Annahme: Bleche schubstarr miteinander verbunden) angenähert werden kann. Diese Erkenntnis hat folgende Auswirkungen auf die weiteren Forschungen:

- Die Orthotropie der Platte ist vernachlässigbar klein:
  $$EI_{Längsrichtung} \approx 1{,}0 \cdot EI_{Zweipunktquerschnitt}$$
  $$EI_{Querrichtung} \approx 0{,}9 \cdot EI_{Zweipunktquerschnitt}$$
- Folglich kann für die Ermittlung der Beanspruchungen einer Trogbrücke mit SCSC-Fahrbahnplatte ein einfaches Schalenmodell verwendet werden, bei dem die außenliegenden Bleche der Platte mit ihrer realen Dicke, in ihrer tatsächlichen Position und schubstarr miteinander verbunden modelliert werden.

Unter Berücksichtigung dieser neuen Erkenntnisse wurde bereits mit der ingenieurpraktikablen Modellierung der SCSC-Platte als Fahrbahnelement einer Trogbrücke mittels RFEM begonnen [7] (DA Kneidinger), um Beanspruchungen zu ermitteln.

Optimierung des Randbereiches der SCSC-Platte

Auf der Grundlage der Ergebnisse früherer Untersuchungen [2] war zu Beginn des ersten Jahres der Forschung bekannt, dass im Randbereich der SCSC-Platte (Anschluss der außenliegenden Stahlbleche an die seitlichen Hauptträger der Trogbrücke) ein Optimierungsbedarf gegeben ist. Aus derzeitiger Sicht wird das Deckblech der Platte mit einer versenkten Kehlnaht, das Bodenblech der Platte mit einer Kehlnaht an den Hauptträgersteg angeschlossen. Um ermüdungskritische Zugspannungsspitzen zwischen Bodenblech und Hauptträgersteg zu vermeiden, wurde eine

Konstruktionsvariante entwickelt, siehe Abb. 2 rechts, mit der die in Querrichtung wirkenden Kräfte der Platte (Kräfte des Betondruckbogens, Querkomponente der Druckdiagonalen im Randbereich) im Inneren der Platte kurzgeschlossen werden können. Im ersten Forschungsjahr wurden daher die FE-Modelle (Trogbrückenausschnitte mit einer Länge von 2 m) mit vollständig abdichtenden Abschlussblechen anstelle der bisher verwendeten Auflagersteifen (siehe Abb. 2 links) erstellt.

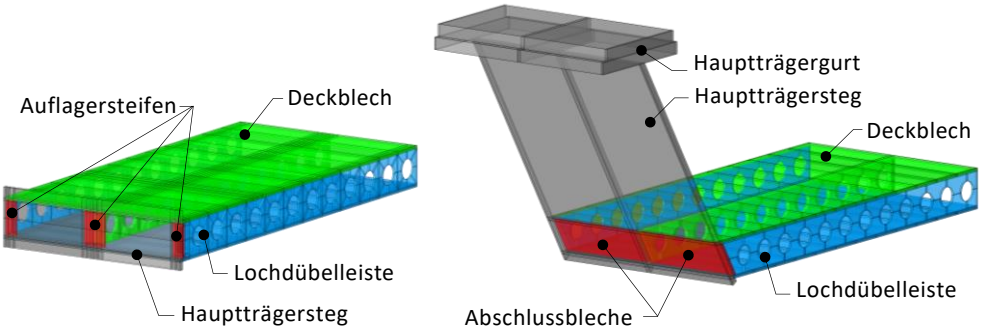

Abb. 2 Links: Abaqus Modell mit Auflagersteifen am Ende der Lochdübelleisten. Hauptträgersteg vereinfacht in vertikaler Lage modelliert *[2]*; rechts: Abaqus Modell mit vollständig abdichtenden Abschlussblechen zwischen den Lochdübelleisten. Hauptträger realitätsnah modelliert.

Im Rahmen der Vordimensionierung des Regelquerschnittes der Trogbrücke wurden alle Detailpunkte für die Grenzzustände ULS, SLS und FLS analysiert [5]. Bei der Analyse der Detailpunkte stellte sich heraus, dass die neue Variante mit vollständig abdichtenden Abschlussblechen einige Nachteile aufwies:

- Nach EN 1993-1-9, Tabelle 8.5, Kerbfall 3 gehört das Detail Abschlussblech-Lochdübelleiste zur Kerbgruppe 36 (Wurzelriss bei nicht voll durchgeschweißten T-Stößen). In Anbetracht der hier wirkenden Längsspannungen aus der Haupttragwirkung ist dies für den Ermüdungsnachweis sehr ungünstig.
- Beim anschließenden Einschweißen der Abschlussbleche zwischen den Lochdübelleisten entstehen übermäßige Eigenspannungen, die zu ermüdungskritischen Spannungsspitzen führen.
- Die Einpassung und die Positionierung der Abschlussbleche vor dem Schweißen ist aus fertigungstechnischer Sicht durchaus möglich, jedoch deutlich aufwendiger als bei der Variante mit Auflagersteifen.

Auf Grundlage der neuen Erkenntnisse wird eine neue Variante untersucht [8] (DA Schuster), siehe Abb. 3. Diese Variante beseitigt alle Nachteile der beiden zuvor untersuchten Varianten und kombiniert deren Vorteile:

- Trennung der Quertragwirkung der Platte von der Haupttragwirkung im Bereich der Schweißnaht zwischen Bodenblech und Hauptträgersteg (keine Zugspannungen in Querrichtung aus der Funktionsweise der Platte, nur aus der Einspannwirkung).
- Die Platte wird durch die über die ganze Länge der Platte durchgehenden Abschlussbleche vollständig dicht. So können Plattensegmente beliebiger

Länge ausbetoniert werden, ohne dass sie zuvor an die Hauptträgerstege angeschweißt werden müssen.

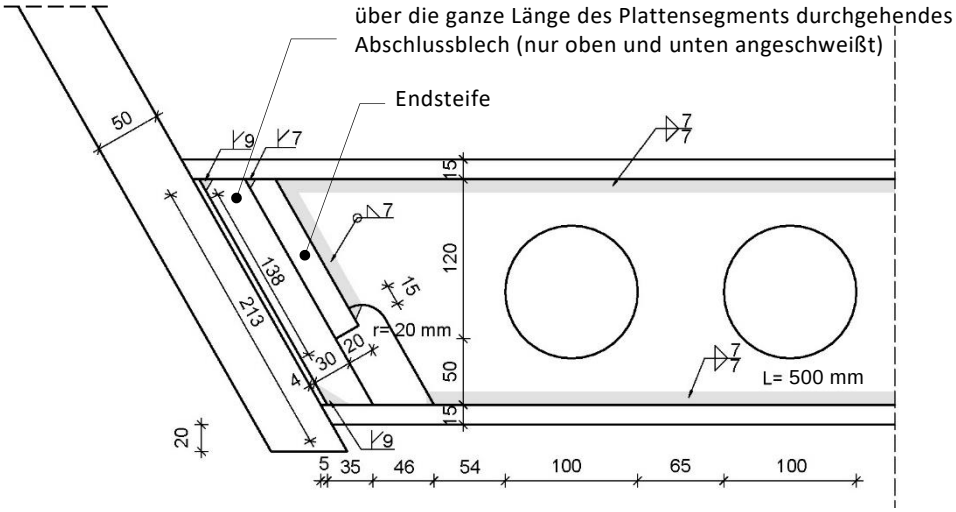

Abb. 3 Neue Variante zur Ausbildung des Randbereiches der SCSC-Platte [8]

Ein weiteres Thema, das zusätzlich zu den in der Leistungsbeschreibung angeführten Themen untersucht wird, ist der Einfluss der „fehlenden“ Nähte an den unverschweißten Seiten der Lochdübelleisten, siehe Abb. 3 untere Naht. Aus derzeitiger Sicht kann in diesem Bereich eine Doppelkehlnaht mit einer Länge von ca. 500 mm ausgeführt werden.

In Abb. 4 sind die Dübelkräfte einer oben angeschweißten Dübelleiste von verschiedenen Modellen miteinander verglichen. Wie in der Abbildung zu sehen ist, sind die Dübelkräfte im Modell mit zusätzlichen Schweißnähten (violett) deutlich geringer als im Modell ohne zusätzliche Schweißnähte (grün).

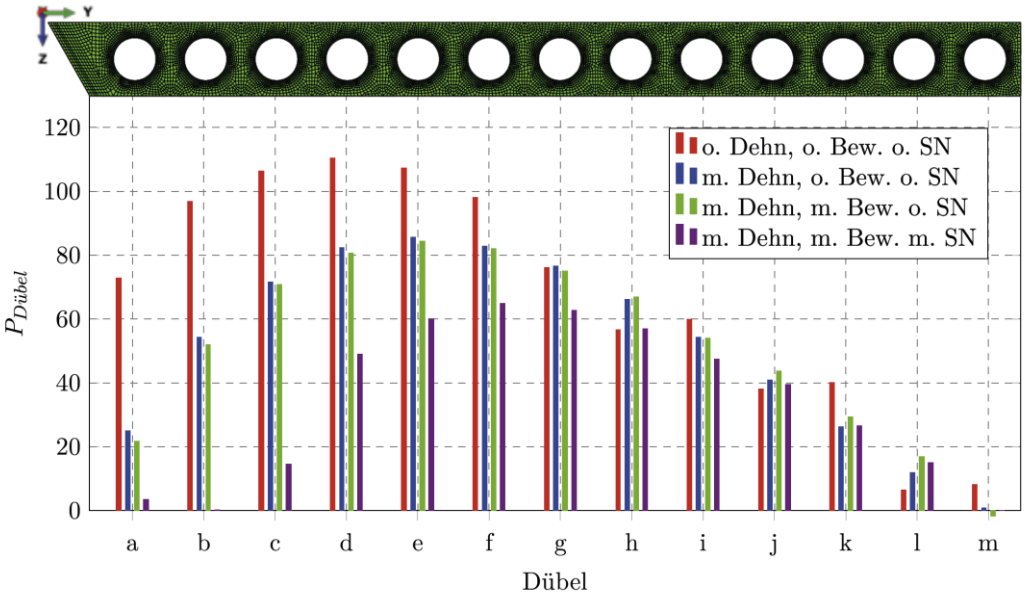

Abb. 4 Dübelkräfte einer oben angeschweißten Dübelleiste unter einem Lastniveau von $1 \cdot ULS$ [5]

Aus den oben genannten Gründen sind die Forschungen in diesem Arbeitspaket noch nicht abgeschlossen, weshalb die Forschungen im zweiten Jahr zu folgenden Themen fortgesetzt werden:

- Ermittlung der Beanspruchungen für typische Trogbrücken
- Untersuchung der Auswirkungen der Haupttragwirkung auf die SCSC-Platte
- Ingenieurpraktikable Modellierung
- Optimierung des Randbereiches

AP 4: Vorversuche (= Biaxialversuche)

Das Ziel dieses Arbeitspakets besteht darin, die Auswirkung der Rissbildung aufgrund Zugbeanspruchung aus der Haupttragwirkung bei Trogbrücken zu analysieren und begleitende numerische Analysen durchzuführen. Um den Einfluss der Rissbildung zu analysieren, waren zum Zeitpunkt der Antragstellung Vorversuche geplant, bei denen verschiedene Grenzsituationen angenommen und Risse in den zugbeanspruchten Betonelementen simuliert werden. Die Versuche wurden also vereinfacht, im Interesse der Durchführbarkeit mit simulierten Rissen anstelle von echten Rissen geplant.

In der Startphase des Projektes wurden neue Arten von Versuchskörpern entwickelt, siehe Abb. 5, mit denen Versuche mit echten Rissen durchgeführt werden können, ohne dass die außenliegenden Stahlbleche gezogen werden müssen. Mit diesen Versuchskörpern können zwei Kraftwirkungen (Zug aus der Haupttragwirkung, Schub aus der Quertragwirkung) gleichzeitig und realitätsnah simuliert werden, daher der Name: „Biaxialversuche“.

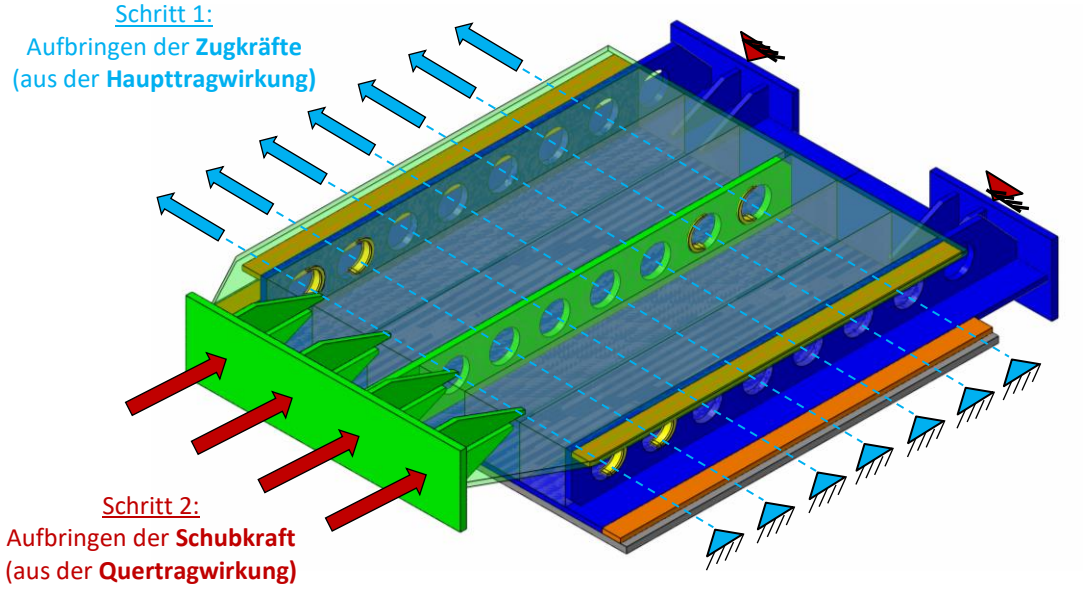

Abb. 5 Belastung der Versuchskörper der Biaxialversuche [9]

Für die Durchführung dieser Versuche war die Entwicklung eines geeigneten Versuchsrahmens notwendig, siehe Abb. 6, die durch die Firma HABAU MCE GmbH hergestellt wurde.

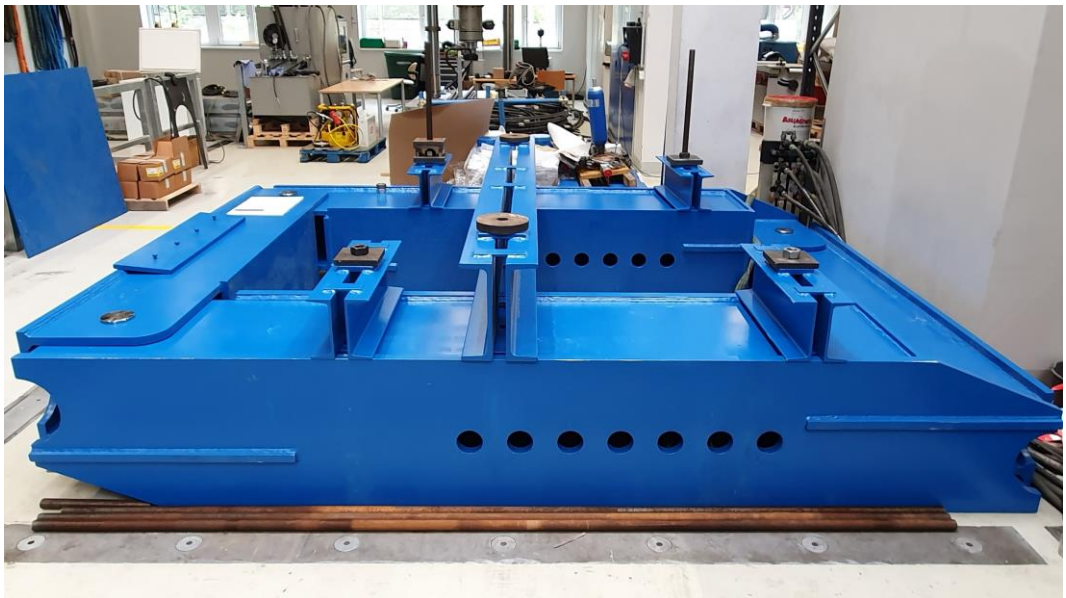

Abb. 6 Versuchsrahmen für die Biaxialversuche

Alle (15 Stk.) Versuchskörper wurden ebenso bei der Firma HABAU MCE GmbH hergestellt. Sie wurden in drei Betonierchargen mit je fünf Versuchskörpern bei der Fa. Oberndorfer GmbH in Gars am Kamp für das Betonieren vorbereitet, ausbetoniert

und anschließend nach Wien transportiert. Die Durchführung des ersten Biaxialversuches ist für Dezember 2021 geplant.

Abb. 7 Vorbereitungsarbeiten für das Betonieren der Versuchskörper für die Biaxialversuche

Die wichtigsten Versuchskörper wurden mit Hilfe von Finite Elemente Berechnungen eingehend analysiert, siehe Abb. 8 [9] (DA Holyevác). Die Ergebnisse sollen als Vergleichsbasis für die Auswertung der Biaxialversuche herangezogen werden.

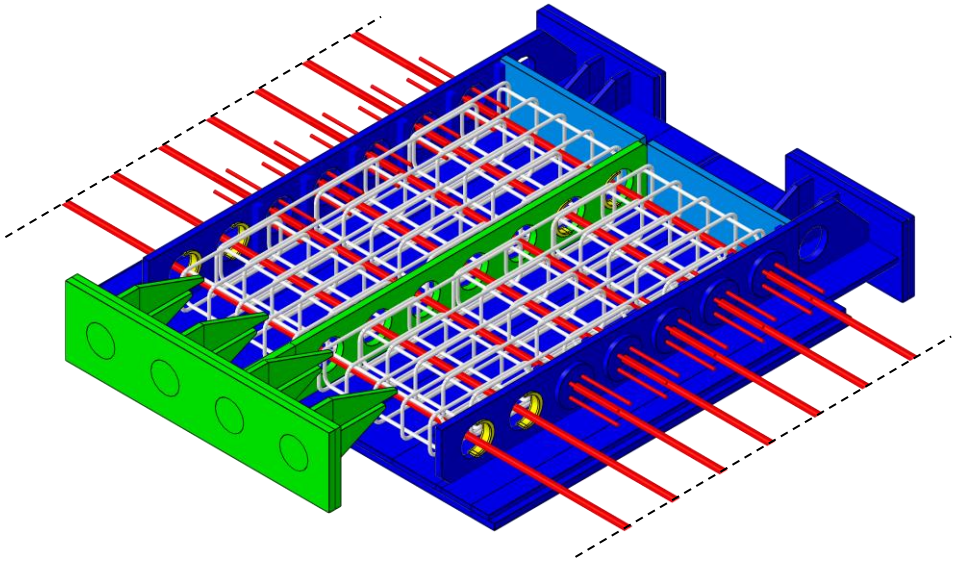

Abb. 8 FE-Modell der Versuchskörper VK1/5 für die Biaxialversuche

Die Planung der Versuchskörper und des neuen Versuchsrahmens, die Durchführung und die Auswertung der Versuche gehen weit über die bisher geplanten Vorversuche hinaus. Der Aufwand in diesem Arbeitspaket wurde dementsprechend deutlich erhöht, weshalb dieses Arbeitspaket noch nicht abgeschlossen werden konnte. Im zweiten Forschungsjahr werden alle Versuchskörper vollständig für die Biaxialversuche vorbereitet. Die Mehrzahl der Versuche (12 Stk. statische Versuche) wird planmäßig bis März 2022 abgeschlossen und ausgewertet sein.

Die Ergebnisse werden mit den bereits vorhandenen FE-Ergebnissen verglichen. Die Auswirkungen der an den Versuchskörpern vorgenommenen konstruktiven

Anpassungen werden bewertet. Anhand der Ergebnisse werden die Tragfähigkeitseigenschaften der SCSC-Platte für Trogbrücken beurteilt.

AP 5: „Plexiglas"-Versuche

Auslöser der „Plexiglas“-Versuche waren die Grundsatzüberlegungen für die Herstellung von Trogbrücken mit SCSC-Platten. Eine der bevorzugten Herstellungsweise besteht darin, zunächst alle stahlbaumäßigen Arbeiten der Trogbrücke abzuschließen und den Betonkörper erst danach zu gießen. Dazu wird die gesamte zusammengeschweißte Stahlkonstruktion der Brücke in 10° - 30° um ihre Längsachse geneigt und danach die Platte von unten durch Doka Pumpenstutzen mit selbstfließendem Beton vergossen, siehe Abb. 9.

Zur Analyse des Füllvorganges der SCSC-Platte wurden sogenannte „Plexiglas“-Versuche geplant, bei denen der Beton von unten durch Doka Pumpenstutzen eingepumpt wird. Für eine ausreichende Fließfähigkeit des Betons wurde eine Zusammensetzung von C40/50 F73 SCC GK 8 mm verwendet. Dies entspricht einem selbstverdichtenden Beton mit einem Größtkorn von 8 mm. Untersucht wurde eine SCSC-Plattenvariante mit äquidistantem Dübelleistenabstand von 500 mm mit Bewehrung (siehe Abb. 10) und eine Plattenvariante mit nicht-äquidistantem Dübelleistenabstand ohne Bewehrung.
Die Versuche wurden bei der Firma Oberndorfer in Gars am Kamp durchgeführt. Der Drehtisch wurde von der Firma Doka zur Verfügung gestellt.

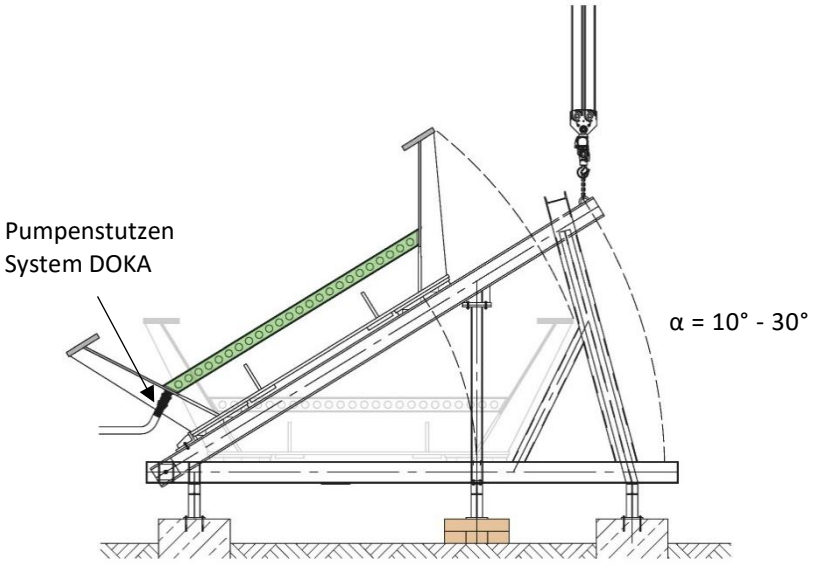

Abb. 9 Schematische Darstellung eines Drehtisches für die Herstellung von Trogbrücken mit SCSC-Platten [10]

Abb. 10 Versuchskörper für die „Plexiglas“-Versuche mit äquidistantem Dübelleistenabstand und Bewehrung, auf dem Doka-Drehtisch um 30° geneigt

Die Versuchsergebnisse wurden dokumentiert und ausgewertet [1] (DA Spreitzer).
Die wesentlichen Erkenntnisse sind:

- SCSC-Platten mit nicht-äquidistantem Dübelleistenabstand ohne Bewehrung können von unten durch Doka Pumpenstutzen vollständig ausgefüllt werden.
- Die bevorzugte Variante der SCSC-Platte mit äquidistantem Dübelleistenabstand und mit Bewehrung kann von unten nicht genügend ausgefüllt werden, siehe Abb. 11. Der Beton wird entmischt und im Körper bilden sich unausgefüllte Nester aus. Der Füllvorgang von unten für Plattenkonstruktionen mit Bewehrung ist daher nicht zielführend.

Abb. 11 Detailaufnahme eines Versuchskörpers nach Aushärtung des Betons

Schlussfolgerung für den Betoniervorgang von SCSC-Platten:

- Für Plattentypen mit Bewehrung wird empfohlen, in einem Neigungswinkel von 60° - 90° zu betonieren, siehe Abb. 12.

Schlussfolgerungen für die Herstellung von Trogbrücken:

- Die Herstellungsweise mit nachträglichem Verguss ist nicht anwendbar für die SCSC-Platte mit Bewehrung.
- Aus diesem Grund und aus wirtschaftlichen Gründen wird empfohlen, zunächst SCSC-Plattensegmente von etwa 6 m Länge herzustellen und diese erst dann an den Hauptträgern der Trogbrücke anzuschließen.

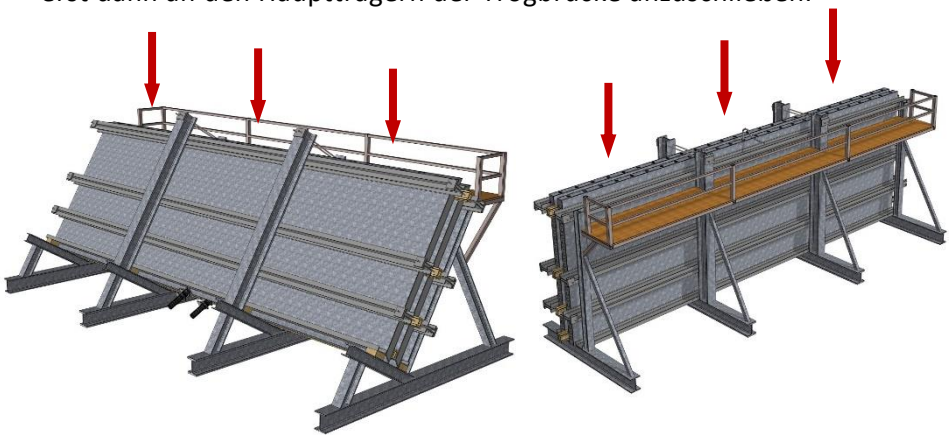

Abb. 12 Herstellung von SCSC-Plattensegmenten, links: Betonieren in einem Neigungswinkel von 60°; rechts: Betonieren stehend [10]

Die Ziele des Arbeitspakets wurden somit ohne Änderungen oder Verzögerungen vollständig erreicht.
Hinweis: Die Versuchsanlage für die Plexiglasversuche (Drehtisch von Firma Doka) wird (bei der Firma Oberndorfer) vorgehalten, um in Abhängigkeit von in einem in der nahen Zukunft sich ergebenden Bedarf noch ergänzenden Versuchen diese Anlage nutzen zu können.

AP 6: Klein-Versuche

Anhand der Auswertung der 12 durchgeführten Dauerschwingversuche konnten bereits einige Kenndaten für ingenieurmäßige Modellbildungen ermittelt werden. Mit diesen Kenndaten kann das inelastische Verhalten von Betons unterschiedlicher Güte berücksichtigt werden, siehe Abb. 13.

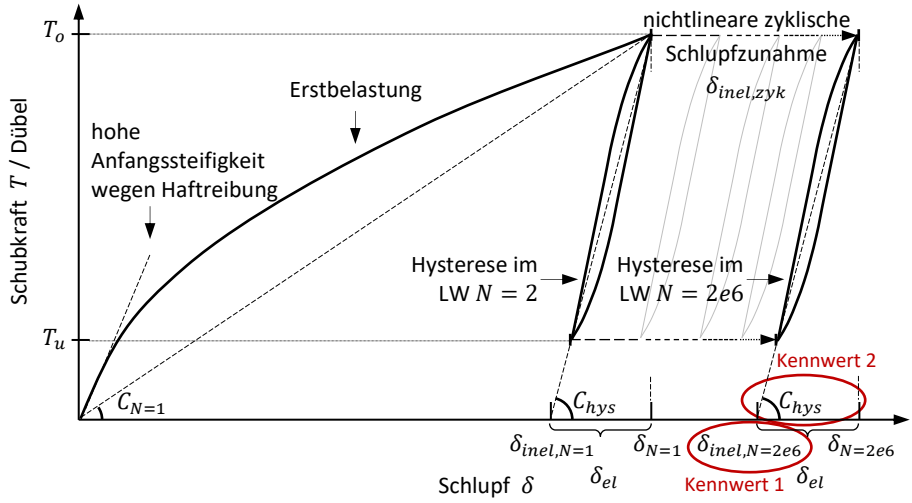

Abb. 13 Schematische Darstellung der zyklischen Schlupfzunahme der Verbundfuge mit zunehmender Lastspielzahl [3]

Als Beispiel wird hier die Auswertung des Versuchskörpers 4 dargestellt, siehe Abb. 14. Die Ähnlichkeit mit der in Abb. 13. dargestellten Hypothese ist deutlich erkennbar.

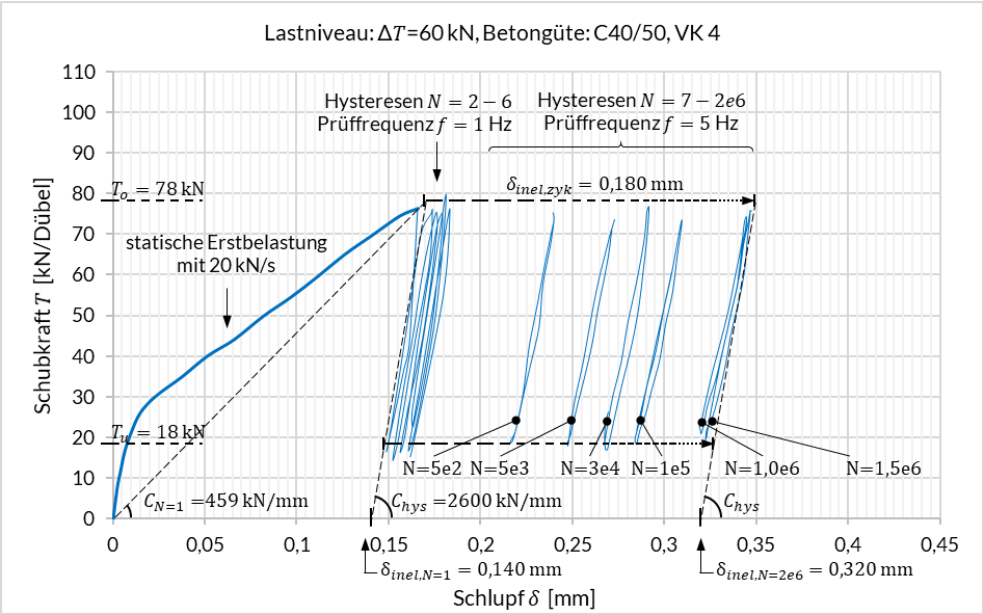

Abb. 14 Ergebnisverläufe des Versuchskörpers 4 [3]

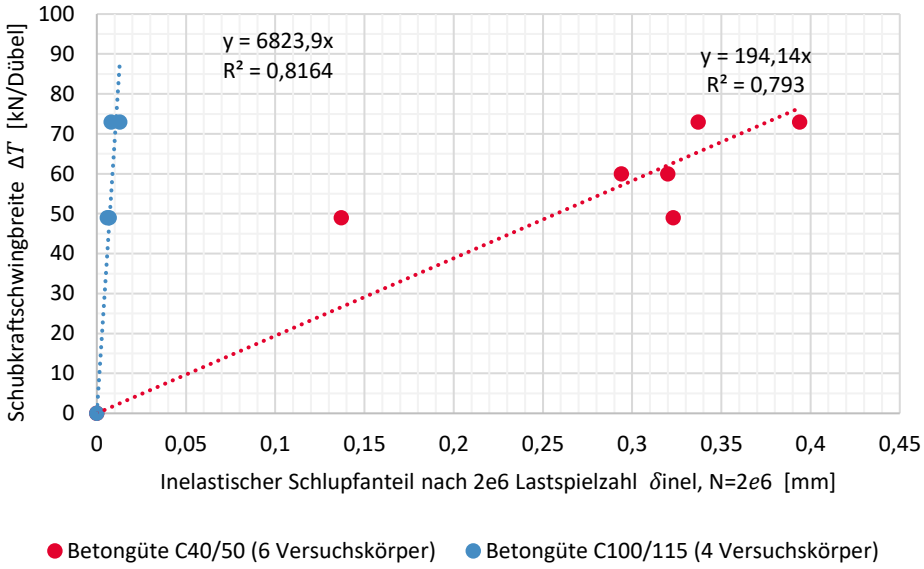

Abb. 15 Auswertung des inelastischen Schlupfanteils nach 2 Millionen Lastspielzahl (Kennwert 1) [3]

In Abb. 15 sind die Zusammenhänge zwischen dem Lastniveau und dem inelastischen Schlupfanteil nach 2 Millionen Lastspielzahl (Kennwert 1) in Abhängigkeit der Betongüte dargestellt. Der Einfluss des Lastniveaus und der Betongüte sind gut erkennbar. Im zweiten Forschungsjahr werden weitere Dauerschwingversuche unter höheren Lastniveaus durchgeführt.

Abb. 16 zeigt die Auswertung der zyklischen Verbundmittelsteifigkeit nach 2 Millionen Lastspielzahl (Kennwert 2). Die Ergebnisse der unterschiedlichen Betongüte sind gut differenzierbar.

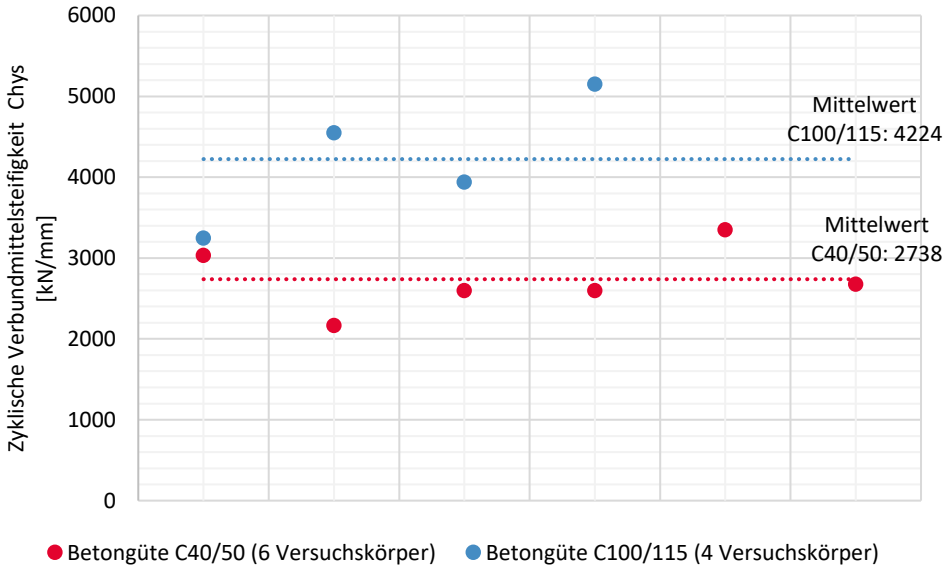

Abb. 16 Auswertung der zyklischen Verbundmittelsteifigkeit C_{hys} nach 2 Millionen Lastspielzahl (Kennwert 2) [3]

Die für das erste Forschungsjahr geplanten Ziele wurden somit voll und ganz erreicht.

AP 9: Ergänzungen und Sonderthemen

Die ersten Forschungen zwischen 2012 und 2020 konzentrierten sich auf die Anwendung der SCSC-Platte als Fahrbahnplatte für Trogbrücken. Bei diesen Untersuchungen wurde nur die vom Tragwerk isolierte Quertragwirkung der Platte als Haupttragwirkung untersucht. Unter anderem wurden Großversuche an realitätsnahen Platten mit einer Spannweite von etwa 4,5 m durchgeführt, bei denen die Zugbeanspruchung der SCSC-Platte aus der Haupttragwirkung (SCSC-Platte = Untergurt der Hauptträger) nicht berücksichtigt wurde. Die SCSC-Plattenelemente mit längslaufenden Lochdübelleisten zeigten für die isolierte Quertragwirkung eine ausgesprochen hohe Duktilität und eine enorm hohe Tragfähigkeit.

Der nächste logische Schritt bestand darin, die Anwendung der SCSC-Platte als alleiniges Tragelement in Längsrichtung für Eisenbahnbrücken mit kurzen Spannweiten (Plattenbrücken) zu untersuchen. Nach Rücksprache mit den ÖBB stellte sich heraus, dass dieses Thema von besonderem Interesse ist.

Aus diesem Grund wurde die Anwendung der SCSC-Platte als Plattenbrücke im Rahmen einer Diplomarbeit untersucht [11] (DA Lorenz). Ziel dieser Arbeit war es, ein Verständnis für das Tragverhalten der Plattenbrücke zu bekommen und verschiedene Ausführungsvarianten konstruktiver Details zu analysieren. Dafür wurden FE-Untersuchungen an insgesamt acht SCSC-Plattenmodellen mit der Software ABAQUS durchgeführt. Nach Auswertung der Ergebnisse wurden Empfehlungen für die Ausbildung des Randbereiches der Platte (Randdübelleiste) und für die Anordnung der Dübelleisten gegeben.

Die für das erste Forschungsjahr geplanten Ziele wurden somit nicht nur voll erreicht, sondern übertroffen. Für das zweite Forschungsjahr ist eine Fortsetzung der Untersuchungen für den Anwendungsfall Plattenbrücke geplant [12] (DA Horeschy). Das Ziel besteht darin, einfache Ingenieurmodelle zur Beschreibung des Tragverhaltens von Plattenbrücken auf Basis der im ersten Jahr erhaltenen Kenndaten (Klein-Versuche, siehe AP6.) zu entwickeln.

Literaturverzeichnis

[1] Spreitzer, S., *Dokumentation und Auswertung der Plexiglas- und Biaxialversuche,* Diplomarbeit in Bearbeitung, Institut für Tragkonstruktionen - Stahlbau, TU Wien, Österreich.

[2] Takács, P., *Analyse des Ermüdungsverhaltens der SCSC-Platte,* Dissertation, Institut für Tragkonstruktionen - Stahlbau, TU Wien, Österreich, 2018.

[3] Takács, P., *Nicht veröffentliche Forschungsergebnisse,* Institut für Tragkonstruktionen - Stahlbau, TU Wien, Österreich.

[4] Pichler, F., *Schnittgrößenanalyse einer Trogbrücke mit,* Diplomarbeit in Bearbeitung, Institut für Tragkonstruktionen - Stahlbau, TU Wien, Österreich.

[5] Egly, P., *Untersuchung der Haupttragwirkung einer Trogbrücke mit SCSC-Fahrbahnplatte,* Diplomarbeit in Bearbeitung, Institut für Tragkonstruktionen - Stahlbau, TU Wien, Österreich.

[6] Hasenbichler, T.; Hestmann, A., *Längstragwirkung der SCSC-Platte,* Diplomarbeit, Institut für Tragkonstruktionen - Stahlbau, TU Wien, Österreich, 2021.

[7] Kneidinger, L., *Ingenieurpraktikable Modellierung der SCSC-Platte als Fahrbahnelement einer Trogbrücke mittels RFEM,* Diplomarbeit in Bearbeitung, Institut für Tragkonstruktionen - Stahlbau, TU Wien, Österreich.

[8] Schuster, M., *Untersuchung der Haupttragwirkung einer Trogbrücke mit SCSC-Fahrbahnplatte,* Diplomarbeit in Bearbeitung, Institut für Tragkonstruktionen - Stahlbau, TU Wien, Österreich.

[9] Holyevác, Gy., *FE-Untersuchung der Auswirkungen der Haupttragwirkung auf die SCSC-Platte als Fahrbahnplatte einer Trogbrücke anhand der Biaxialversuche,* Diplomarbeit, Institut für Tragkonstruktionen - Stahlbau, TU Wien, Österreich, 2021.

[10] Fruhmann, M., *Herstellung von Trogbrücken mit SCSC-Fahrbahnplatten,* Diplomarbeit, Institut für Tragkonstruktionen - Stahlbau, TU Wien, Österreich, 2020.

[11] Lorenz, S., *Ausgewählte Detailanalysen zur Anwendung der SCSC-Platte als Plattenbrücke,* Diplomarbeit, Institut für Tragkonstruktionen - Stahlbau, TU Wien, Österreich, 2021.

[12] Horeschy, L., *Weiterführende Untersuchungen über die Anwendung der SCSC-Platte als Plattenbrücke,* Diplomarbeit in Bearbeitung, Institut für Tragkonstruktionen - Stahlbau, TU Wien, Österreich.

3 PROJEKTTEAM UND KOOPERATION

- Gab es wesentliche Veränderungen im Projektteam (interne Schlüsselmitarbeiter*innen und Drittleister)?
- Bei Konsortialprojekten und Forschungskooperationen: 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, Verbände, Bauunternehmen und Ingenieurbüros verläuft reibungslos.

4 WIRTSCHAFTLICHE UND WISSENSCHAFTLICHE VERWERTUNG

- Beschreiben Sie die bisherigen Verwertungs- bzw. Weiterverbreitungs-aktivitäten. 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 Zusammenhang mit dem Forschungsprojekt wurden im ersten Jahr bereits 4 Diplomarbeit veröffentlicht und weitere 6 Diplomarbeiten sind in Bearbeitung, siehe Literaturverzeichnis am Ende des Abschnitts 2.2.

Im zweiten und dritten Forschungsjahr sind weitere themenspezifische Diplomarbeiten und mehrere Veröffentlichungen in Fachzeitschriften geplant.

5 ERLÄUTERUNG ZU KOSTEN UND FINANZIERUNG

Beschreiben und begründen Sie wesentliche aufgetretene Abweichungen vom Kostenplan.

Es gibt keine Abweichungen zu den in der Leistungsbeschreibung „Entwicklung der SCSC-Platte als extrem schlanke Fahrbahnplatte für Eisenbahnbrücken“ definierten Kosten.

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.

In der Leistungsbeschreibung *„Entwicklung der SCSC-Platte als extrem schlanke Fahrbahnplatte für Eisenbahnbrücken“* wurden keine projektspezifischen Vorgaben und Auflagen definiert.

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).

Eine Verlängerung des Bearbeitungszeitraums des gegenständlichen Forschungsprojekts (Dauer: 36 Monate) ist aus heutiger Sicht nicht erforderlich.