

High Speed Temporary (HST) Bridge aus UHPC

DI Dr. techn. Pius Wörle, DI Michael Wechtitsch
Wörle Sparowitz Ingenieure ZT GmbH, Graz/Österreich



1 Einleitung

Im Auftrag der Österreichischen Bundesbahnen wurde in den Jahren 2008 & 2009 an der TU Graz am Institut für Betonbau unter der damaligen Leitung von Prof. Lutz Sparowitz in enger Zusammenarbeit mit dem Büro Wörle & Sparowitz ZT GmbH (S+W) ein Prototyp einer modularen UHPC-Trogbrücke für den Hilfsbrückenbau der ÖBB entwickelt.

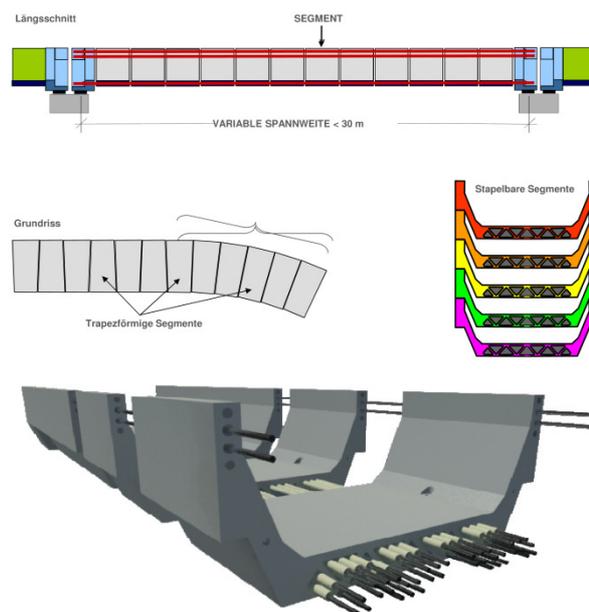
Im Jahr 2011 wurde mit der baulichen Umsetzung begonnen. Anschließend wurden einige Tests am Objekt wie beispielsweise die Dauerschwingversuche im Brückenwerk der ÖBB in St. Pölten durchgeführt. Seit 2017 wird die UHPC Brücke seitens S+W federführend stetig weiterentwickelt.

Ausschlaggebend für die Idee zum Entwurf und Entwicklung einer neuen Generation von Hilfsbrücken waren nachfolgende Entwurfskriterien:

- Durchgehendes Schotterbett
- Steigerung der Überfahrtsgeschwindigkeit von derzeit 80-120km/h auf 200km/h
- Kurvenradien von $r \geq 1000\text{m}$
- Erhöhung des Reisekomforts
- Flexibilität in der Spannweitengestaltung bei gleichbleibendem Regelquerschnitt
- Geringe Bauhöhe von der Unterkante des Tragwerks bis zur Gleisoberkante
- Optimierung des Aufwandes für Montage und Demontage
- Fertigteilmäße für Bahn- und LKW Transport auslegen
- Platzsparende Stapelbarkeit am Lagerplatz vorsehen
- Oftmalige Wieder-Verwendbarkeit sicherstellen

2 Konstruktionsprinzip der HST 270

Die unter diesen Randbedingungen entwickelte UHPC Hilfsbrücke „HST 270“ (High Speed Temporary Bridge 270) ist eine einfeldrige Trogbrücke in Segmentbauweise, bestehend aus End- und Regelementen aus UHPC, welche mittels externer Vorspannung zusammengespannt werden.



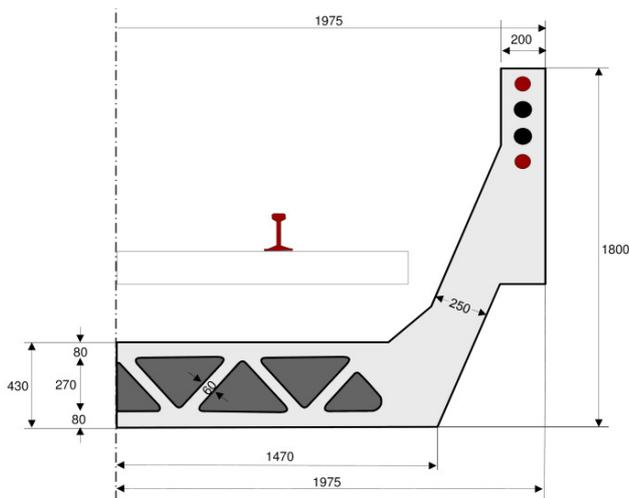
Die Gesamtlänge der Brücke beträgt 27,0m, die Spannweite beträgt 26,0m.

Die einzelnen Regelemente besitzen eine Gesamtlänge von 2,0m. Lediglich die beiden Endelemente des Tragwerks besitzen aus geometrischen Gründen eine Länge von 1,5m.

Somit besteht ein Tragwerk bei Ausführung in Maximallänge aus 2 Endelementen und 12 Regelementen. Die Spannweite kann durch Ausbau von Regelementen in 2,0m-Schritten beliebig verkürzt werden. Der

Trogquerschnitt wurde so gewählt, dass der Einsatz mehrerer UHPC-Hilfsbrücken neben einander möglich ist, ohne dass das Lichtraumprofil der ÖBB eingeschränkt wird.

Die Bodenplatte des Trogquerschnitts ist als Fachwerk ausgebildet. In den in Längsrichtung orientierten Hohlkammern des Fachwerks wird die externe Vorspannung geführt. Die Gurte der Bodenplatte sind in Querrichtung mittels Spannbettvorspannung ausgeführt. Die Gurte des Trogquerschnitts sind schlaff bewehrt.



Im oberen Bereich der Gurte wurden je Seite zwei Druckstähle \varnothing 75mm in der Stahlgüte SAS 670/800 eingebaut, um die Biegesteifigkeit des Tragwerks zu erhöhen. Bei maximaler Spannweite von 26,0m konnte das Komfortkriterium $L/500$ im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit nur mit Hilfe der Druckstähle eingehalten werden.

Die Endelemente besitzen im Grunde dasselbe Konstruktionsprinzip. Lediglich die Bodenplatte ist aufgrund der Verankerung der externen Vorspannung etwas wuchtiger ausgeführt.

Im Zuge der Entwicklung des Regelquerschnitts wurden am Labor für konstruktiven Ingenieurbau an der TU Graz auch entsprechende Belastungsversuche durchgeführt.

Besonderes Augenmerk ist natürlich auch auf die Trockenfuge der einzelnen UHPC-Segmente zu legen.

Die Kraftübertragung von einem Segment zum nächsten erfolgt lediglich über Reibung der überdrückten Fuge. Dafür muss jedoch sichergestellt sein, dass die Kontaktflächen möglichst eben sind bzw. überdrückt bleibt, wobei im Grenzzustand der Tragfähigkeit eine Fugenöffnung von $h/4$ zugelassen wird.

Seitens S+W wurde abschließend noch ein universell einsetzbares Fertigteilfundament entwickelt, welche eine noch effizientere und schnellere Montage der Hilfsbrücke bewerkstelligt.

3 Herstellverfahren der HST 270

Die End- und Regelemente des Prototyps wurden mittels aufgestellter Stahlschalung gefertigt. Damit musste die nach oben orientierte Kontaktfläche des jeweils hergestellten Elementes aufwendig nachbearbeitet werden.



Das Planschleifen der Kontaktflächen erfolgte mittels eines patentierten Verfahrens seitens der Fa. Bögl.

4 Erste Erfahrungen aus der Praxis

Im Zuge des Abbindeprozesses kam es im Nahbereich der wichtigen Druckstähle, welche am oberen Ende der Stege angeordnet wurden, zu radial angeordneten Schwindrissen.

Diese wurden nach Begutachtung als unbedenklich eingestuft.

Als abschließender Praxistest wurden an der HST 270 Dauerschwingversuche durchgeführt. Diese wurden vom Büro RED Bernhard in Zusammenarbeit mit S+W, sowie dem Institut für Betonbau der TU-Graz geplant und überwacht.

Dabei sollte das Ermüdungsverhalten der extern geführten Spannstähle, sowie der im Produktionsprozess aufgetretenen Schwindrisse an den Druckstählen untersucht werden.

Der Dauerschwingversuch musste jedoch unterbrochen werden, da es zu Ermüdungsbrüchen der extern geführten Spannstäben kam. Bereits während des Versuchs waren auffällige Schlaggeräusche der Spannstäben registriert worden, die offensichtlich in Resonanz getreten waren.

Mit einer Nachrechnung konnte dieser Effekt bestätigt werden. Durch Fixierung der Spannstangen in den Drittelpunkten mittels Kunststoffformteilen konnte die Resonanzerscheinung jedoch unterbunden werden, sodass die Wiederholung des Versuchs erfolgreich war.

5 Weiterentwicklung zur HST 310

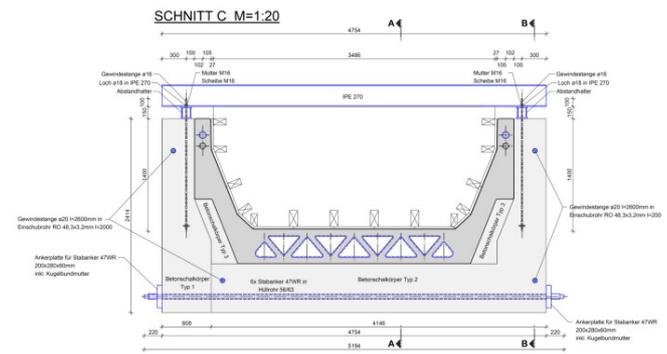
Auf Basis der Erkenntnisse zur HST 270 bestand seitens der ÖBB der Wunsch einer Weiterentwicklung. Ausschlaggebend waren folgende Kriterien:

- Verzicht auf Druckstäbe im Stegbereich
- Entfall des aufwendigen Planschleifens
- Spannweitenvergrößerung auf bis zu 30m
- Weitere Optimierung des Querschnitts

Angesichts der bereits erreichten Systemgrenzen bei Spannweiten von 26m war die Weiterentwicklung technisch anspruchsvoll. Eine Erhöhung der Spannweite bei gleichzeitigem Verzicht auf Druckstäbe bedeutet entweder eine tiefgreifende Veränderung des Querschnitts – was aufgrund der vorgegebenen Lichtraumprofils und der Querschnittshöhe kaum möglich war – oder eine wesentliche Erhöhung der Materialeigenschaften des verwendeten UHPCs.

Durcrete bietet seit einigen Jahren eine weiterentwickelte UHPC Mischung mit hohem E-Modul für Maschinenfundamente an. Basis dieser Rezeptur ist der Premiumzement Nanodur[®], welcher von Dyckerhoff entwickelt wurde. Statt eines E-Moduls von 50MPa sollten nun bis zu 80MPa möglich sein. Da diese Mischung nur sehr geringe bzw. keine Stahlfasern enthält, wurden am Labor für Konstruktiven Ingenieurbau (LKI) der TU-Graz umfangreiche Materialtests durchgeführt, um die UHPC-Eigenschaften bzw. Festigkeitswerte bei Zugabe der für die Duktilität und Biegezugfestigkeit erforderlichen Stahlfasermenge zu verifizieren. Die Faserzugabe bedingt eine Korrektur der Mischung, was mit einer Reduktion des E-Moduls auf 70MPa verbunden ist. Die Erweiterung auf Spannweiten von bis zu 30,0m wurde dennoch möglich.

Für den Entfall des Planschleifens an den Trockenfugen der Elemente wurde seitens S+W in Kooperation mit dem LKI der TU-Graz ein völlig neues Schalungssystem entwickelt, bei dem die Elemente liegend betoniert werden.



Der Füllprozess soll einseitig an einem Steg erfolgen, wobei der UHPC am gegenüber liegenden Steg nach oben steigen soll. Die Trockenfugen können nun beidseits sauber abgeschalt werden, wodurch das Planschleifen nicht mehr erforderlich ist. Für die Simulation des Füllprozesses wurden am LKI der TU-Graz bereits erfolgreich Füllversuche durchgeführt.



6 Ausblick

Weitere Versuche zum Schwind- bzw. Abkühlverhalten an der nicht nachbehandelten Trockenfuge sind am LKI der TU-Graz derzeit in Vorbereitung.

Für Spannweiten ab 26,0m bis 30,0m werden seitens S+W derzeit dynamische Analysen an der HST 310 durchgeführt, um festzustellen, ob hinsichtlich der Zugüberfahrgeschwindigkeiten Einschränkungen erforderlich werden.

Es wäre auch der Einbau eines Dämpfers denkbar, um Einschränkungen der Zugüberfahrgeschwindigkeiten zu vermeiden

Bahn Hilfsbrücken für höhere Geschwindigkeiten: Wirtschaftlicher Variantenvergleich



DI Alfred Hüingsberg
ÖBB Infrastruktur AG
Leiter Brückenbau und konstruktiver Ingenieurbau

Bisher ist die maximale Überfahrtsgeschwindigkeit von ÖBB-Hilfsbrücken 120 km/h. Dies entspricht auch der in Europa maximalen Geschwindigkeit für derartige Konstruktionen.

Das Neubauprogramm im österreichischen Bahnsektor hat in den letzten 30 Jahren auf mehreren stark befahrenen Strecken zu Geschwindigkeitsanhebungen auf bis zu 230 km/h geführt. Baumaßnahmen „unter dem rollenden Rad“ mit den konventionellen Hilfsbrücken würden große Geschwindigkeitseinbrüche ergeben, wodurch das Fahrplangefüge beeinträchtigt wäre. Folglich wurden für das notwendige Erneuerungsprogramm von Stahlhilfsbrücken der letzten Jahre Tragwerke für höhere Geschwindigkeiten entwickelt, die im Vortrag von Dr. Bruschetini-Ambro / DI Menge vorgestellt werden.

Für die wirtschaftliche Darstellung der Notwendigkeit dieser Hilfsbrücken für bis zu 160 bzw. 200 km/h sind entsprechende spezifische Untersuchungen erforderlich. Es wurden für mehrere Geschwindigkeitsdifferenzen insgesamt 8 Szenarien auf betriebswirtschaftlicher aber auch auf volkswirtschaftlicher Basis untersucht. Die entstehenden Kosten infolge Langsamfahren setzen sich zusammen aus

- Kosten infolge Zeitverlust
und
- Kosten für ggf. zusätzlichen Energieverbrauch.

Bei den betriebswirtschaftlichen Ansätzen sind alle Hilfsbrücken nach wenigen Einsätzen amortisiert.

Bei zwei volkswirtschaftlichen Ansätzen ist der „break-even-point“ bereits nach wenigen Monaten erreicht.

Folglich ist das derzeit laufende ÖBB-Hilfsbrücken – Neubauprogramm für Tragwerke mit höheren Geschwindigkeiten von 160 bzw. 200 km/h auch wirtschaftlich sehr sinnvoll.