

Tragfunktionsanalyse und rechnerische Modellbildung einer neuartigen Sandwich Verbundplatte (SCSC- Platte) als Fahrbahndeck für Eisenbahnbrücken

Paul Herrmann, in Wien am 02.06.2013

Eisenbahnbrücken älterer Bauart nähern sich mit zunehmender Anzahl dem Ende ihrer planmäßigen Lebensdauer. Basierend auf genauen Analysen der Life Cycle Costs ist daher für diese Tragwerke eine Komplettanierung oder ein Ersatzneubau notwendig. Die betreffenden Brücken sind überwiegend mit offener Fahrbahn ausgebildet wodurch sich eine extrem niedrige Bauhöhe H zwischen dem darunterliegenden Lichtraum, also der Konstruktionsunterkante (KUK nach *Abbildung 1*) und der Schwellenoberkante (SOK) ergibt. Moderne Brücken, die nach dem heutigen Stand der Technik gebaut werden, können vorrangig aus Gründen des Lärmschutzes nicht mehr mit offener Fahrbahn konstruiert werden. Die heute denkbaren Ausführungsformen sind entweder ein Schottertrog mit rund 55cm Höhe oder die unwesentlich niedriger ausführbare feste Fahrbahn.

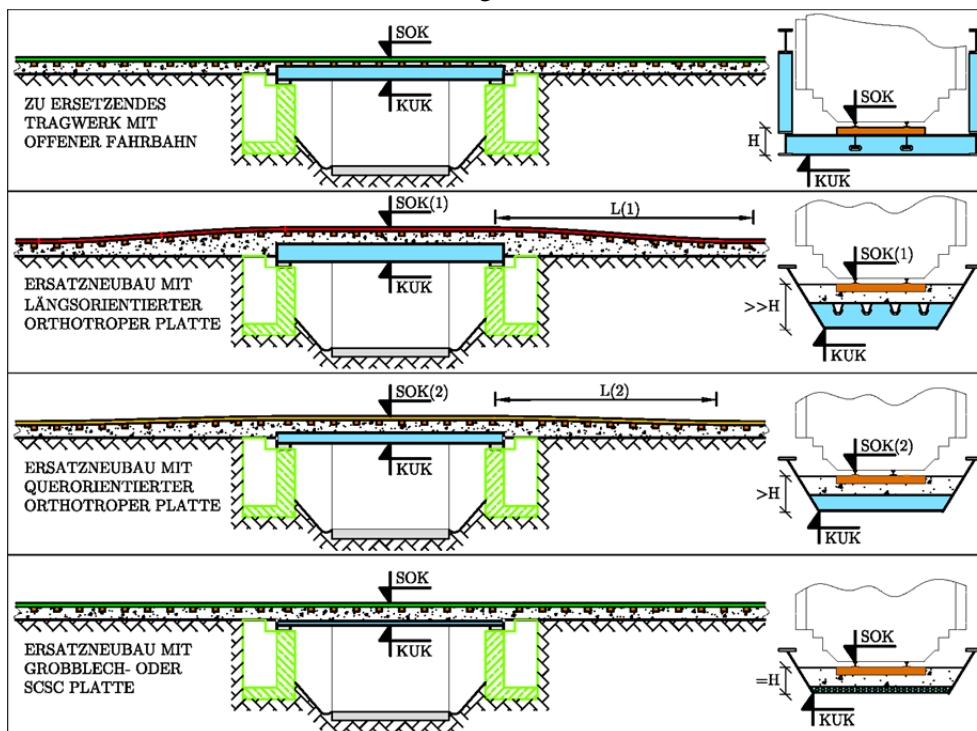


Abbildung 1: Motivation zur Entwicklung schlanker Fahrbahnplatten

Wird ein Ersatzneubau angedacht, ist in der Regel jedoch weder der Lichtraum des unter der Brücke liegenden Verkehrsweges noch die Höhenlage der Gleise wesentlich abänderbar. Wie aus *Abbildung 1* deutlich zu erkennen ist, hat eine Anhebung der Schienengradiente auf dem Tragwerk auf Grund des sehr geringen zulässigen Gefälles von Eisenbahntrassen erhebliche Auswirkungen auf die Gleishöhe in weiten Bereichen vor und hinter der Brücke ($L(1)$ bzw. $L(2)$), die in die Neubaukosten einzurechnen sind. Daher ist es für Ersatzneubauten aus ökonomischer und ökologischer Sicht oft sinnvoller, die Bauhöhe der Fahrbahnkonstruktion auf ein Minimum zu reduzieren. Für die Quertragwirkung, also die Weiterleitung der Vertikallasten zu den Brückenhauptträgern, ist jedoch mit herkömmlichen Konstruktionsformen eine gewisse Bauhöhe erforderlich. Aus diesem Grund sind für derartige Anwendungsfälle neuartige Konstruktionen gewünscht, die bezüglich ihrer Bauhöhe optimiert sind.

Die ÖBB verfügen über die Regelplanung einer Trogbrücke für „kleine“ Stützweiten zwischen 10 und 25m, die eine mögliche Variante zur Lösung des oben beschriebenen Widerspruchs darstellt. Dieser Entwurf zeichnet sich unter anderem durch eine Fahrbahnplatte aus, die aus einem 120mm dicken Blech ohne jegliche Aussteifungen besteht und liefert somit das absolute Minimum der möglichen Konstruktionshöhe. Bleche dieser Dicke haben jedoch auch nicht von der Hand zu

weisende Nachteile, wie die schwierige Verfügbarkeit, die hohe Stahltonnage und die technologisch anspruchsvollen Schweißstöße.

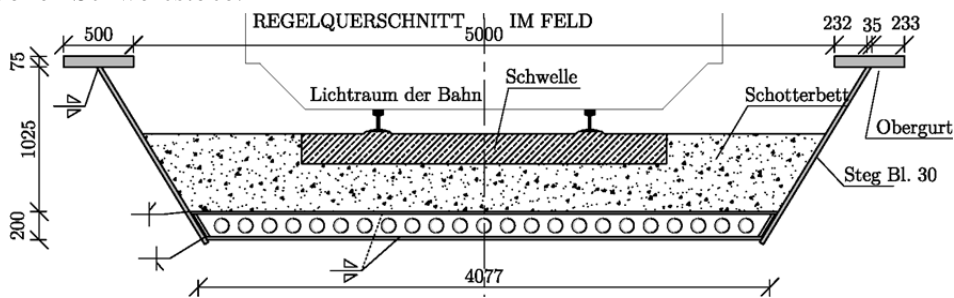


Abbildung 2: Regelquerschnitt der alternativen Trogbücke mit SCSC-Fahrbahn

Zur Vermeidung der oben beschriebenen Nachteile der Grobblechfahrbahn wurde eine Alternative gesucht, die eine ausreichende Tragfähigkeit bietet, ohne dabei wesentlich an Schlankheit zu verlieren. Es liegt nahe das Material nahe der Schwerachse, das bei Beanspruchung in Brückenquertragrichtung kaum Spannungen erfährt, durch den kostengünstigeren Werkstoff Beton zu ersetzen. Die notwendige Tragfähigkeit kann durch die Anordnung von relativ dünnen Schichten aus Stahl an den hoch ausgenutzten Randfasern erreicht werden. Dabei muss jedoch sichergestellt werden, dass die außen liegenden Stahlteile schubfest miteinander verbunden sind, um deren „Steineranteile“ möglichst voll ausnutzen zu können. Der stahlbaummäßige Anschluss an das Haupttragwerk soll erhalten bleiben und die außenliegenden Stahlbleche übernehmen zusätzlich die Funktion der Betonabdichtung auf der gesamten Plattenoberfläche. Aus der Summe dieser Überlegungen heraus entsteht ein neuartiger Plattentyp, die „Steel- Concrete- Steel- Composite“ oder auch *SCSC-Platte*. In *Abbildung 2* ist die *SCSC-Platte* beispielhaft im Rahmen der ÖBB- Trogbücken- Regelplanung dargestellt.

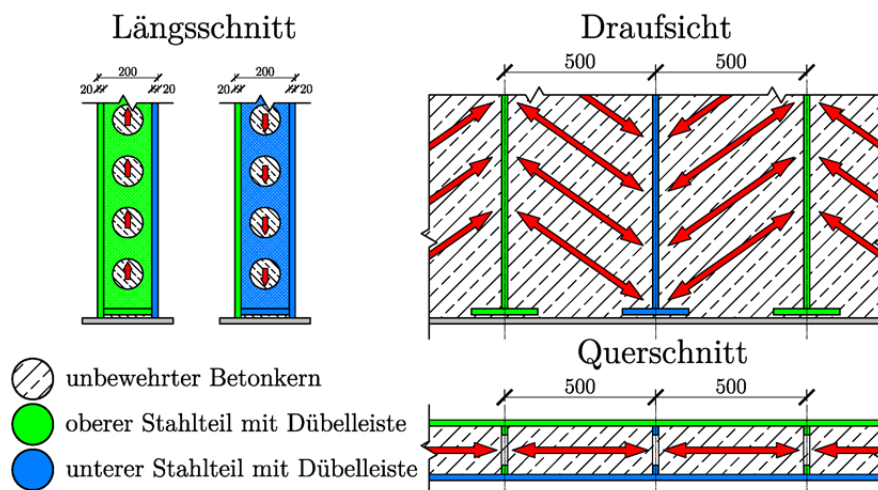


Abbildung 3: Vereinfachte Darstellung des Tragmechanismus der SCSC-Platte

Die Arbeit ist in fünf Blöcke unterteilt. In Block 1 wird das Prinzip der Konstruktion der *SCSC-Platte* erklärt. Das Bauteil besteht aus je einem außen liegendem Deck- und Bodenblech, die durch ihre Querschnittsfläche und ihren Abstand den Hauptteil der Plattenbiegesteifigkeit erzeugen. Die direkte Verbindung des oberen mit dem unteren Blech ist aus Gründen der Unzugänglichkeit zu den Schweißnähten nicht ausführbar. Daher muss der Schubverbund durch den Füllbetonkern und Dübelleisten hergestellt werden, die wechselweise mit dem Deck-, bzw. dem Bodenblech verschweißt sind. Die Schubübertragung im Sandwichquerschnitt erfolgt durch die Ausbildung von horizontal liegenden Druckdiagonalen zwischen benachbarten Dübelleisten im Betonkörper, die die aus dem globalen Plattenbiegemoment entstehenden Gurtscheibenkräfte in die außen liegenden Stahlteile einleiten (*Abbildung 3*). Der Füllbeton ersetzt sozusagen die nicht ausführbare zweite Halskehlnaht der „Stahlstege“, also der Dübelleisten und wird dabei vorrangig durch Druckspannungen beansprucht.

Nach der Erläuterung der Konstruktion und der prinzipiellen Tragwirkung wird kurz auf die Möglichkeiten zur Herstellung sowie auf die Kosten der *SCSC-Platte* eingegangen. Am Ende des Blocks 1 wird die Wirtschaftlichkeit der *SCSC-Platte* im Rahmen einer Gegenüberstellung mit heute üblichen Fahrbahnkonstruktionen für Eisenbahnbrücken hinsichtlich Bauhöhe und Herstellkosten belegt.

In Block 2 werden experimentelle Tragfähigkeitsuntersuchungen für *SCSC-Plattenelemente* mit reduzierten Stützweiten und verschiedenen Dübelleistengeometrien unter zentrischer, linienförmiger Belastung erläutert, die im Labor des Instituts für Tragkonstruktionen durchgeführt wurden.

Diese Laborexperimente werden in Block 3 mit umfangreichen Parameterstudien an geometrisch und materiell nichtlinearen FE- Modellen numerisch nachgebildet und verifiziert. Die Analysen bestätigen die Ausbildung des Tragmechanismus nach *Abbildung 3* prinzipiell. Der dargestellte Effekt überlagert sich jedoch in „Störzonen“, wie beispielsweise den Auflagerbereichen, mit weiteren Einflüssen. Die Ergebnisse der FE- Analysen dienen außerdem der Extraktion von Ergebnissen, die in weiterer Folge zur Erarbeitung von realitätsnahen Rechenmodellen zur Beschreibung der Tragfunktion notwendig sind.

Block 4 beschäftigt sich ausführlich mit der Erstellung ebendieser ingenieurmäßigen Berechnungsmodelle unter Zuhilfenahme der Ergebnisse der Laborversuche und der FE- Studien. Es werden mehrere Möglichkeiten der Modellierung untersucht, untereinander verglichen und bewertet. Als erste und genaueste Modellierung wird ein Stabwerksmodell vorgestellt, das im linken Teilbild von *Abbildung 4* dargestellt ist.

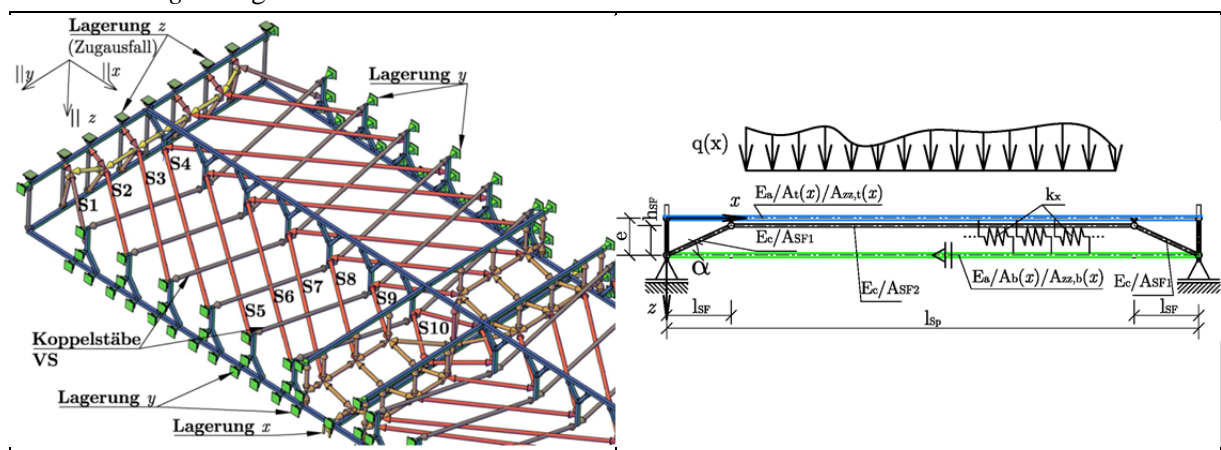


Abbildung 4: Modellbildung mit Stabwerken (li.) und auf Basis des elastischen Verbunds (re.)

Nach einigen Modellvereinfachungen und Variantenuntersuchungen wird eine rechnerische Modellbildung vorgestellt, die es ermöglicht, die Verformungen des Gesamtbauteils sowie die Dehnungen und Spannungen der außen liegenden Deckbleche mit überschaubarem Aufwand hinreichend genau anzunähern. Dabei handelt es sich um ein Modell auf Basis der Theorie des elastischen Verbunds, das im rechten Teilbild von *Abbildung 4* schematisch dargestellt ist.

Im Zuge des letzten Blocks, Block 5, wird das zweckmäßigste Ingenieurmodell im Zuge eines Berechnungsbeispiels auf Basis des Trogbauentwurfs angewendet.

In der Dissertation wird die Machbarkeit der neuartigen Konstruktionsweise der *SCSC-Platte* sowohl experimentell als auch theoretisch bestätigt. Zudem wird gezeigt, dass es sich dabei um eine tragfähige, sowie einfach und kostengünstig herzustellende und somit durchaus konkurrenzfähige Konstruktion handelt. Die Anwendung dieser Technologie birgt im Vergleich zu Konstruktionsformen nach dem heutigen Stand der Technik ein signifikantes Einsparungspotential von Stahlmassen. Außerdem werden ingenieurmäßige Modelle erarbeitet, die es ermöglichen, das komplexe Tragverhalten dieser neuartigen Konstruktion mit relativ einfachen Mitteln zu beschreiben. Damit erfolgt ein erster wichtiger Schritt zur praktischen Einsetzbarkeit der *SCSC-Platte*.