

Einsatz der Sandwich-Plate-System-Bauweise

Instandsetzung der Hängebrücke Mettlach

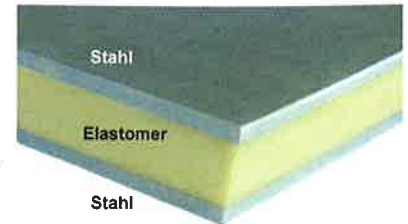
von Thomas Stihl, Uwe Heiland

Seit ca. 20 Jahren wird ein Verbundwerkstoff aus Stahl und einem Polyurethankern für tragende Falterwerk- und Plattenkonstruktionen weltweit eingesetzt. Die Anwendungen erfassen Off-Shore-Plattformen, Schiffdecks, Hochhaus-Geschoßdecken sowie Brückendecks und sind in ihrer Vielzahl nahezu unbegrenzt. Mit der Etablierung dieser Bauweise in Deutschland wurde im Jahr 2005, federführend durch die Eiffel Deutschland Stahltechnologie GmbH (damals ThyssenKrupp Stahlbau) und technisch-wissenschaftlich begleitet durch das Bundesverkehrsministerium und die RWTH Aachen, begonnen. Seitdem sind drei kommerzielle Anwendungen [1] realisiert worden, welche die Vorteile der Bauweise für die jeweiligen Einsatzfälle exemplarisch zu bestätigen in der Lage waren. Aktuell erfolgt im Zuge von Instandsetzungsarbeiten an der Hängebrücke in Mettlach eine weitere Maßnahme für den Straßenbrückenbau, über die nachstehend berichtet wird.

1 Was ist SPS

1993 wurde an der Carleton University in Ottawa ein Forschungsprojekt zur Entwicklung von Eisbarrieren zum Schutz von Off-Shore-Anlagen in der arktischen Beaufortsee ins Leben gerufen, wobei die Idee entstand, einen tragfähigen Verbundquerschnitt aus Stahl und Kunststoff herzustellen, welcher die enormen Anprallkräfte aus den von einer aufgewühlten See bewegten Eismassen aufnehmen kann: Er sollte die Elastizität des Stahls im Zusammenwirken mit der Energiedissipation eines Kunststoffs ausnutzen.

Die Umsetzung dieser Idee war Basis der neugeschaffenen kanadisch-englischen Firma Intelligent Engineering. [2] Sie entwickelte gemeinsam mit der deutschen BASF eine Stahl-Kunststoff-Verbundbauweise, welche die stahlbautypischen Vorteile mit den zusätzlichen bauphysikalischen Eigenschaften, die aus der Verbindung der Stahltafeln mit Kunststoff resultieren, in einem Tragelement vereint. Beim Sandwich-Plate-System (SPS) handelt es sich um einen Sandwichquerschnitt, der zwei außenliegende Stahlplatten aufweist, die einen festen Polyurethankern umschließen. Die Haftungseigenschaften des speziell formulierten Polyurethans auf der Stahloberfläche führen zu einem hochbelastbaren Tragelement, das auch große dynamische Beanspruchungen aufzunehmen vermag. Im Unterschied zu den bekannten Sandwichstrukturen mit geschäumten PUR, die im Bauwesen als Fassaden- und Dachelemente angeboten werden, rückt beim SPS die statische Tragwirkung und nicht die Bauphysik in den Vordergrund, weshalb der Kunststoff aus einem massiven, nicht geschäumten Kern besteht. Erste kommerzielle Realisierungen waren die seit 2000 erfolgreich im Schiffbau, zum Beispiel für sogenannte RoRo-Decks, angeordneten SPS-Overlays. Wie im Stahlbau oft typisch, wurde auch mit dem SPS eine Entwicklung aus dem Schiffbau adaptiert. Im Bauwesen finden sich nun vielfältige Anwendungsmöglichkeiten

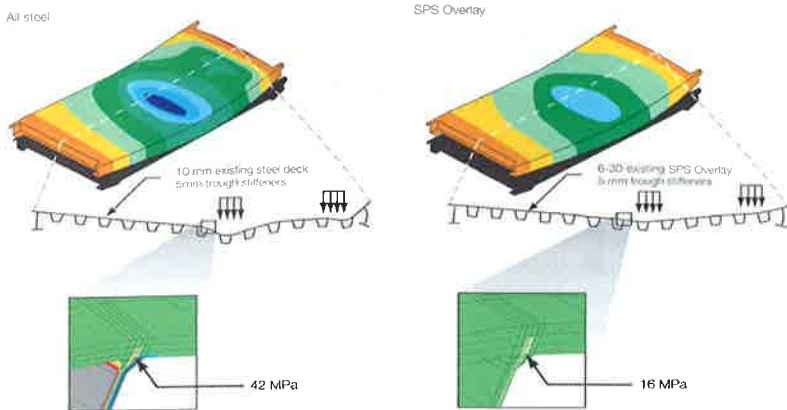


1 Struktur eines SPS-Elements
© Eiffel Deutschland Stahltechnologie GmbH

für den neuen Verbundquerschnitt, wie etwa als isotrope Fahrbahntafel, bei der die Aussteifung der Rippen durch die Bettung des Kunststoffs ersetzt wird. Im Hochbau werden SPS-Platten darüber hinaus als Etagedecken genutzt, da sie leichter sind als klassische Betonlösungen und zudem die stahlbautypischen Nachteile in puncto fehlender Dämpfung oder Bauphysik, wie Schallübertragung oder Isolierung, ohne Zusatzmaßnahmen ausgleichen. Dort, wo leichte Bauweisen erforderlich sind, ist das SPS eine wirtschaftliche Alternative. So wurden die beidseitigen temporären Tribünen des Aquatics-Centre der Olympischen Spiele 2012 in London aus SPS-Platten gefertigt, ebenso verfügen die Tribünenstufen des neuen Grandstand der Pferderennbahn im englischen Ascot über SPS-Paneele.



2 Fahrbahndeck einer kanadischen Brücke in SPS-Bauweise
© Intelligent Engineering Ltd.



3 Eigenschaftsvergleiche: Stahl und SPS-Overlay
© Eiffel Deutschland Stahltechnologie GmbH

2 Daten und Fakten

In Kurzform lässt sich die chronologische Entwicklung der SPS-Bauweise folgendermaßen zusammenfassen:

- 1993 Entwicklung der SPS-Off-Shore-Eisbarrieren, Ottawa
- 1996 Gründung von Intelligent Engineering, Ottawa und London
- 1998 Patentierung von SPS in den USA und Kanada
- 2004 Forschungsprogramm der RWTH Aachen
- 2004 Prototyp »Fahrbahnplatten D-Brücke (Normalfahrbahn)« in Österreich
- 2004 Prototyp »Fahrbahnplatte-Overlay D-Brücke (Flachfahrbahn)« in Deutschland
- 2005 Tonnenblechverstärkung bei der U-2-Hochbahnbrücke Schönhauser Allee in Berlin
- 2005 Overlay bei der Schönwasserparkbrücke auf der A 57 in Krefeld
- 2006 Gutachten der RWTH Aachen zum SPS-Overlay der Schönwasserparkbrücke
- 2007 SPS-D-Brücken-Overlay-Fahrbahn auf der A 59 in Duisburg
- 2007 Abschlussbericht des FOSTA-Forschungsvorhabens P628 (RWTH Aachen, Universität Dortmund)
- 2008 Typberechnung nach DIN-Fachbericht 101: Verstärkung der DIN 1072 D-Brücken, Fahrbahnplatten mit SPS
- 2010 Veröffentlichung des FOSTA-Forschungsvorhabens P628 (RWTH Aachen, Universität Dortmund)
- 2012 Fahrbahnerneuerung bei der Saarbrücke Mettlach mit SPS-Paneelen (800 m²)

3 Pilotprojekt in Deutschland

Vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) wurde in 2005 ein Pilotprojekt in Nordrhein-Westfalen zur Verstärkung von orthotropen Brückenfahrbahnen mit SPS gefördert: Die erwarteten Risschädigungen der Fahrbahnplatte, die durch hohe dynamische Beanspruchungen aus dem wachsenden Verkehr entstehen, werden mit dem SPS durch ein Overlay entschärft. Da es sich um ein Pilotprojekt handelte, stand eine wissenschaftliche Betreuung durch einen neutralen Gutachter im Vordergrund. Alle Errichtungszustände und das fertige Bauwerk wurden kontinuierlich durch den Stahlbaulehrstuhl der RWTH Aachen überwacht, wobei das Überwachungsprogramm Messungen vor, während und nach der Verstärkungsmaßnahme umfasste. Zusätzlich wurde die Bundesan-

stalt für Straßenwesen (BASt) beauftragt, den für den Kunststoff relevanten Heißeinbau der Asphalttschicht nach Abschluss der Verstärkungsmaßnahme zu beobachten und Temperaturmessungen durchzuführen. Die Auswertung zeigte, dass sich die Temperaturen in einem Bereich bewegten, bei dem der Kunststoff durch einen Tempereffekt vergütet wird und dadurch bessere Eigenschaften erhält. Da für die Stahl-Elastomer-Verbundquerschnitte keine Vorgaben einer Norm existieren, wurde auch für die Zulassung im Einzelfall ein der Bauweise angemessener Aufwand betrieben. So wurden die vom Ingenieurbüro Bild, Hagen, erstellten statischen Berechnungen sowohl durch die Instanz Prüfenieur (PSP, Prof. Sedlacek und Partner) als auch durch einen Sachverständigen (Prof. Hanswille, Bergische Universität Wuppertal) überprüft.

4 Anwendung

im Eisenbahnbrückenbau

4.1 Hochbahnbereiche in Berlin

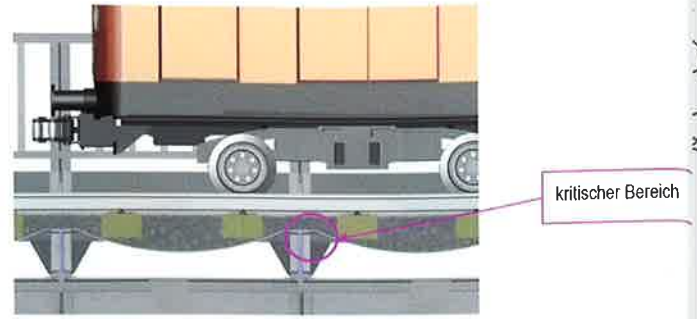
Mit dem Bau von Stahlbrücken für die Hochbahnbereiche der Berliner U-Bahn wurde vor mehr als 100 Jahren begonnen. Im Laufe der Zeit haben auf diese Konstruktionen vielfältige Beanspruchungen aus Verkehr und Zeitgeschehen (Kriegseinflüsse) eingewirkt. Im Rahmen durchgeführter Brückenprüfungen wurden nun verstärkt Ermüdungsschäden festgestellt. Auch rechnerische Untersuchungen zeigten, dass die theoretische Ermüdungsgrenze in mehreren Abschnitten erreicht wurde. Da diese Schäden die statische Funktion des Bauwerks beeinträchtigten, war es erforderlich, sie zu beseitigen und die Brücken an kritischen Punkten zu verstärken. [3] [4] [5]



4 Testaufbau zur Analyse vor Einführung der Bauweise
© Eiffel Deutschland Stahltechnologie GmbH



5 Riss am Querträgeranschluss
© Eiffel Deutschland Stahltechnologie GmbH



6 Längsschnitt durch die Brückentafel,
© Intelligent Engineering Ltd.

4.2 Schadensbeschreibung

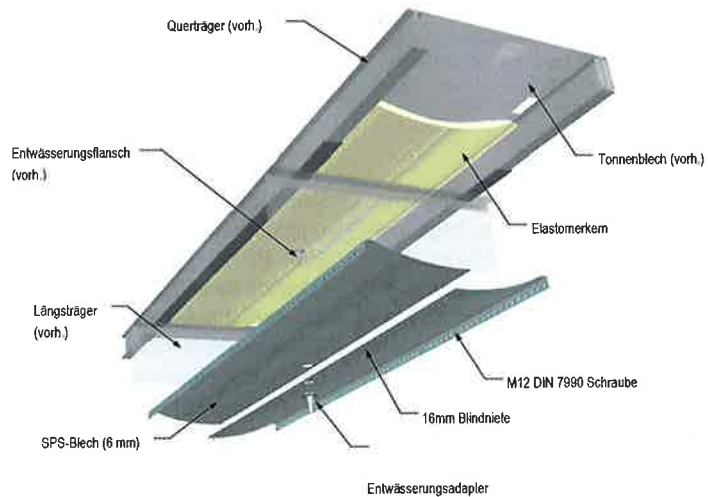
Es zeigte sich, dass die Tonnenbleche der Brückentafel in den Anschlussbereichen zu den Querträgern partiell Risse aufweisen. Diese Risse befanden sich in der Kantung zwischen dem Radien- sowie dem geraden Auflagerabschnitt zu den Querträgern.

Aus konstruktiven und fertigungstechnischen Gründen lag die Kantung nicht immer direkt am Querträgerflansch an, in den meisten Fällen sind hier Abstände von 0,50–4,00 cm angetroffen worden. Die Membranspannungen in den Tonnenblechen können somit nicht direkt in den Obergurt des Querträgers eingeleitet werden. Das heißt, sie erzeugen Biegespannungen, die eine erhöhte Beanspruchung der Tonnenbleche verursachen. Die Tragsicherheit der Konstruktion wird dadurch aber noch nicht beeinträchtigt, weil die zulässigen Biegespannungen nicht überschritten werden.

Eine Betriebsfestigkeitsuntersuchung ergab jedoch, dass die Grenze der Ermüdungsfestigkeit, je nach Annahme der Belastungshistorie, an dieser Stelle bereits erreicht war bzw. nur noch eine kurze Restnutzungsdauer aufwies.

4.3 SPS-Underlay-Entwicklung

Grundgedanke der Entwicklung war die Sanierung von Buckelblechen bei gleichzeitigem Beibehalten des klassischen Oberbaus aus Schiene-Schwelle-Schotter, also aus dem vorhandenen Tonnenblech, einem darunter angeordneten zusätzlichen neuen Blech und dem diese beiden Bleche verbindenden Kunststoffkern einen tragfähigen Sandwichquerschnitt herzustellen. Die Gleisanlage und das Gleisbett auf der Brückenoberseite verblieben demnach in ihrem Zustand und würden von dem Eingriff nicht betroffen sein. Eine Beeinträchtigung des Schienenverkehrs fände somit nicht statt, weil sich die Arbeitsbereiche der Baumaßnahme unterhalb der Brücken befänden.

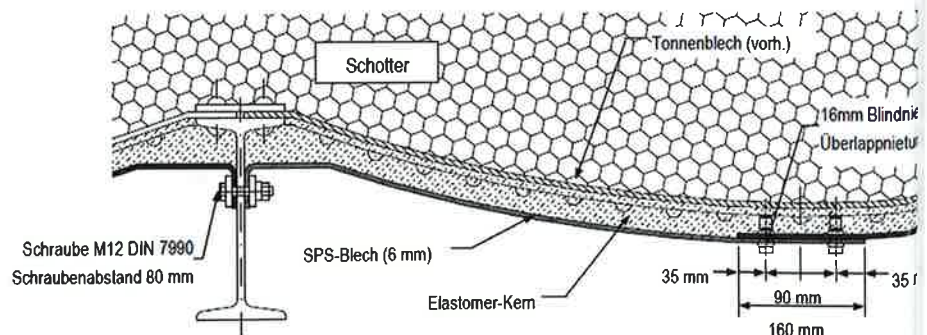


7 Unterseitig angeordnete SPS-Sandwichplatten
© Intelligent Engineering Ltd.

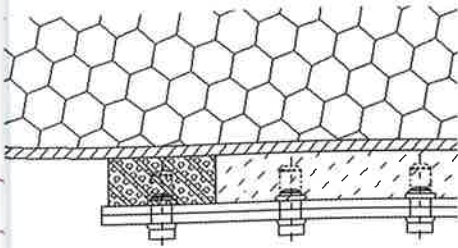
4.4 Konstruktion

In die Querträgerstege wurden Befestigungsbohrungen unter Zuhilfenahme eines Schablons gebohrt und diesen Bohrungen dann die neuen, mittig geteilten und der Tonnenform angepassten Fahrbahnbleche mit einem Abstand von ca. 30 mm unter der vorhandenen

Konstruktion befestigt. Durch die mittige Teilung konnten alle Fertigungstoleranzen und Bauwerksimperfectionen von der neuen Struktur aufgenommen werden, die Bleche wurden an der mittigen Überlappung (160 mm ± Toleranzen) mittels Blindnieten (d = 16 mm) verbunden.



8 Querschnitt mit Verbindungsdetails
© Eiffel Deutschland Stahltechnologie GmbH



9 EPDM-Enddichtung
© Eiffel Deutschland Stahltechnologie GmbH



10 Mischkopf für die Elastomerinjektion
© Intelligent Engineering Ltd.



11 Modell des Moduls für Füllversuche
© Intelligent Engineering Ltd.

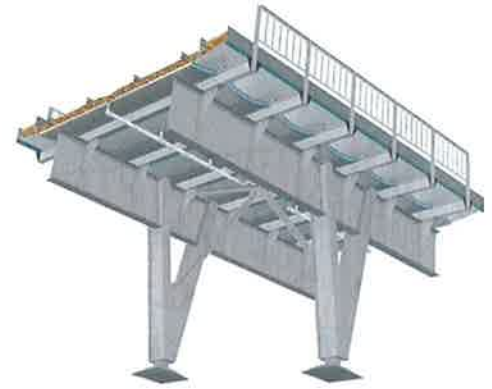
Die nach außen liegenden Bereiche wurden mittels EPDM-Streifen abgedichtet, so dass ein geschlossener Hohlraum (Kavität) entsteht. Das Dichtungssystem ist in der Lage, Spalte bis 100 mm zu schließen, so dass mit ihm alle in die Brücken der Berliner U-Bahn eingebauten Varianten der Tonnenbleche, sogar die kegelförmig hergestellten Fahrbahnbleche, mit dem System gedichtet werden könnten.

Das Injektionsverfahren zum Befüllen des Hohlraums zwischen dem neuen unteren Blech und dem vorhandenen Tonnenblech wird vollautomatisch mit einem Mischkopf und einer Pumpstation realisiert. Dabei werden die zwei Komponenten Polyol und Isocyanat im definierten Mischverhältnis und mit dem optimalen Volumenstrom zusammengeführt.

4.5 Vorteile der Methode

Die Sanierungsmethode mit SPS hat folgende Vorteile:

- keine Beeinträchtigung des Verkehrs während der Umbauphase,
- Verbesserung des Schallschutzes durch zusätzliche Dämmung der Brückenunterseite,
- Verbesserung des allgemeinen Schwingverhaltens der Brücken durch zusätzliche Dämpfungselemente (SPS-Paneele),
- Beibehalten der flächigen Lasteinleitung über das Schotterbett.



12 Ansicht eines SPS-verstärkten Abschnitts
© Intelligent Engineering Ltd.

5 Verbundfahrbahn der Hängebrücke Mettlach

Die Fahrbahn der 1951 errichteten Hängebrücke über die Saar muss erneuert werden, weil andernfalls die Tragfähigkeit des Bauwerks wegen Verschleißes, Korrosion und hohen Verkehrsaufkommens zu reduzieren wäre. [6] Die zweispurige Hängebrücke mit einer Stützweite von 108 m liegt in der Nähe der einzigartigen »Saarschleife« und verknüpft als innerstädtische Querung der Saar die Ortsteile Mettlach und Keuchingen. Sie ist eine wichtige Verkehrsverbindung in dieser touristischen Region, für die keine vollständige Sperrung oder größere Verkehrsbehinderungen erlaubt sind.

In den 1950er Jahren war die Brücke ein Pionierprojekt für leichte Brückenstrukturen: Sie besteht aus dem schlanken Kabeltragwerk einer Hängebrückenkonstruktion und hat als Innovation eine der ersten Fahrbahn tafeln in Stahlverbundbauweise. Nachdem der Fahrbahnbeton

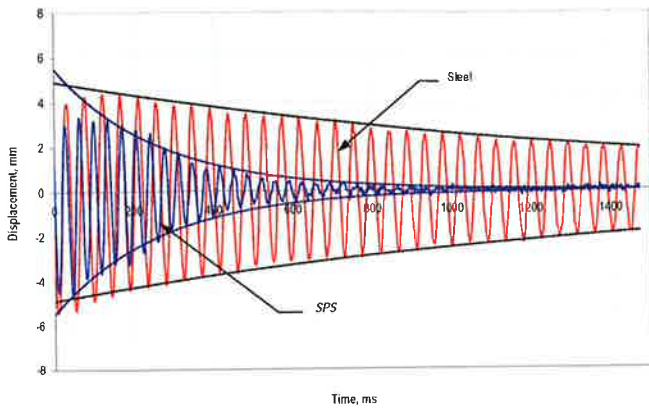


13 Ausgeführte SPS-Verstärkung
© Eiffel Deutschland Stahltechnologie GmbH

aktuell große Schäden aufwies und die Kabel an Tragfähigkeit verloren haben, begannen die Planungen zu ihrer Instandsetzung.



14 Hängebrücke über die Saar in Mettlach
© Eiffel Deutschland Stahltechnologie GmbH



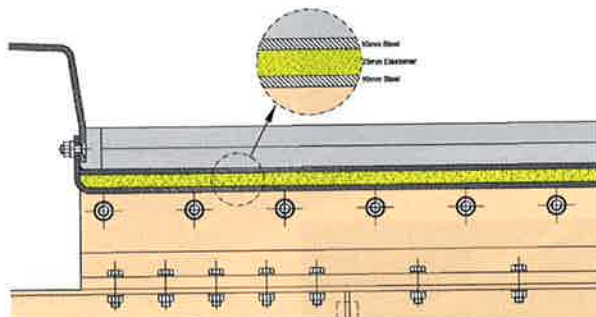
15 Auswertung der Dämpfungseigenschaften von Stahl und SPS
© Eiffel Deutschland Stahltechnologie GmbH



16 Systemanalyse: Tragkomponenten aus dem statischen Modell
© Eiffel Deutschland Stahltechnologie GmbH

Aufgrund der leichten und schlanken Konstruktion war SPS als eine mögliche Lösung für ihre Ertüchtigung untersucht worden. Verschiedene Sanierungsmethoden wurden ausgewählt und deren Leistungen mittels einer Studie verglichen, wobei Konzepte mit einer Fahrbahn aus hochfestem Beton in Verbund- sowie der klassischen orthotropen Stahlbauweise und dem SPS-Deck Berücksichtigung fanden.

Nach einem Kriterienkatalog wurden hier Merkmale der Bauweisen bewertet sowie unter anderem auch Überlegungen zum Dämpfungsverhalten der vorhandenen und der neuen Fahrbahn angestellt. Im konkreten Fall ließ sich zeigen, dass der massive Kunststoffkern Verkehrslärmemissionen zu reduzieren in der Lage sein würde, weil kein stahlbautypischer Resonanzkörper existiert und der Kunststoff als Dämpfungselement wirkt. Im Ergebnis des durchgeführten Analyseprozesses fiel die Entscheidung, an dieser Brücke das Sandwich-Plate-System als neue Stahlleichtfahrbahn einzubauen. Durch die Verwendung der SPS-Bauweise war es möglich, das Fahrbahngewicht von 500 t auf 200 t zu verringern.



17 Fahrbahnaufbau in SPS-Bauweise für die Brücke Mettlach
© Eiffel Deutschland Stahltechnologie GmbH

Dadurch konnte das Verkehrsaufkommen der aktuellen Beanspruchung für die Brücke angesetzt werden und dies bei gleichzeitiger Entlastung der Spannungen in den Tragkabeln. Gegenüber der ebenso leichten orthotropen Fahrbahnplatte wurde das SPS-Design nicht zuletzt deshalb ausgewählt, weil die Bauhöhe der SPS-Platte um 75 % kleiner ist als jene

der orthotropen Platte. Die SPS-Fahrbahn ließ sich so ohne Gradientenänderung in die vorhandene Brücke einpassen, außerdem weist sie einen hohen Vorfertigungsgrad auf.

Die Arbeiten auf der Baustelle wurden im November 2012 begonnen und im Februar 2013 abgeschlossen.



18 Serienfertigung von Fahrbahntafeln
© Eiffel Deutschland Stahltechnologie GmbH



19 Ausführungssituation am 5. Februar 2013
© Eiffel Deutschland Stahltechnologie GmbH

6 Zusammenfassung

Die aktuellen Aufgaben im Zuge von Instandsetzungen von Stahlbrücken infolge geänderter Lastmodelle, vorliegender Schäden und Überlastungen von Tragwerken oder Tragwerksteilen sind effizient und kostengünstig durch die SPS-Bauweise mitzulösen. Dabei ist offensichtlich, dass sich das Sandwich-Plate-System nicht für alle Herausforderungen eignet. Bei ergebnisoffener Variantenuntersuchung und der prinzipiellen Einbeziehung des Systems in den Kreis der möglichen Alternativen ist jedoch von einer Vielzahl weiterer Anwendungen auszugehen.

Autoren:

Dipl.-Ing. Thomas Stihl
Dipl.-Ing. Uwe Heiland
Eiffel Deutschland Stahltechnologie GmbH,
Hannover

Literatur

- [1] Sedlacek, G., RWTH Aachen: Gutachten zum Nachweis der Verbesserung der Dauerhaftigkeit durch SPS-Verstärkungen an Hochbahnabschnitten der U-Bahnlinie U 2 in Berlin. Aachen, 12.05.2005.
- [2] Kennedy, S.: SPS-Overlay for the Berlin U-Bahn Viaduct. Report by Intelligent Engineering, Ottawa, Canada, July 2004.
- [3] Stihl, T.: Sanierung der Hochbahnbrücken der Berliner U-Bahn mittels Sandwich-Verstärkungen. Präsentation KSH, 12.08.2004.
- [4] Heiland, U.; Henschke, S.; Stihl, T.: Grundinstandsetzung stählerner Hochbahntrassen. Erkenntnisse und Bewertung von Verfahren; in: Brückenbau, 4. Jg., Heft 4, 2012, S. 14–21.
- [5] Stihl, T.; Henschke, S.; Heiland, U.: Verfahren zur Grundinstandsetzung stählerner Hochbahntrassen; in: Stahlbau-Nachrichten, 41. Jg., Heft 3, 2012, S. 48–53.
- [5] Stihl, T.; Chassard, C.; Feldmann, M.; Bild, S.: Neue Technologie für die Hängebrücke über die Saar in Mettlach. Brückenfahrbahn aus Sandwich Plate System (SPS); in: Stahlbau, 82. Jg., Heft 3, 2013, S. 179–187.

Bauherr

Landesbetrieb für Straßenbau Saarland, Neunkirchen
Projektleitung: Dipl.-Ing. Uwe Heinzel

Entwurfsverfasser

SBS-Ingenieure, Ingenieurgesellschaft
für das Bauwesen mbH, Saarlouis

Tragwerksplanung

Ingenieurbüro Bild, Hagen
Mitarbeit: Dipl.-Ing. Thomas Mnich

Prüfingenieur

Prof. Dr.-Ing. Markus Feldmann, Aachen
Mitarbeit: Dipl.-Ing. Dirk Schäfer

Gutachten (Zustimmung im Einzelfall)

RWTH Aachen, Institut und Lehrstuhl für Stahlbau
Mitarbeit: Dipl.-Ing. Achim Geßler

Genehmigungsbehörde (Zustimmung im Einzelfall)

Ministerium für Wirtschaft, Arbeit, Energie und Verkehr
Saarland, Referat Straßenbau, Saarbrücken

Ausführung Stahlbau

Eiffel Deutschland Stahltechnologie GmbH, Hannover

SBS-Ingenieure Ingenieurgesellschaft für das Bauwesen mbH

- ▶ Konstruktiver Ingenieurbau
- ▶ Verkehrsanlagen (Straße, Schiene)
- ▶ Brückenbau
- ▶ Tiefbau, Kanalbau
- ▶ Allgemeiner Hochbau
- ▶ Betoninstandsetzung
- ▶ Bauüberwachung
- ▶ SiGe-Koordination,
- ▶ Bauwerksprüfung (Hochbau, Brücken)
- ▶ Bautechnische Prüfung

SBS-Ingenieure

Beratung – Planung – Projektmanagement



Standorte:

Büro Saarlouis · Provinzialstraße 118 · 66740 Saarlouis
Tel. +49 (0)6831 96654-0 · Fax +49 (0)6831 96654-25

Büro Kaiserslautern · Bahnhofstraße 1 · 67655 Kaiserslautern
Tel. +49 (0)631 357749-0 · Fax +49 (0)631 357749-25

Büro Lauda-Königshofen · I Park Tauberfranken 8 · 97922 Lauda-Königshofen
Tel. +49 (0)9343 62751-0 · Fax +49 (0)9343 62751-25

Mehr Infos unter: sbs-ingenieure.com