



Zur Anwendung der Sandwich-Plate-System Bauweise in Deutschland

Einführung

Seit ca. 20 Jahren wird ein Verbundwerkstoff aus Stahl und einem Polyurethankern für tragende Falten- und Platten-Konstruktionen weltweit eingesetzt. Die Anwendungen erfassen Off-Shore-Plattformen, Schiffdecks, Hochhaus-Geschossdecken, Brücken-Decks und sind in Ihrer Vielzahl nahezu unbegrenzt.

Mit der Einführung dieser Bauweise in Deutschland wurde im Jahr 2005 federführend durch die Eiffel Deutschland Stahltechnologie GmbH (damals ThyssenKrupp Stahlbau Hannover) und technisch und wissenschaftlich begleitet durch das Bundesverkehrsministerium und die RWTH Aachen begonnen.

Seitdem sind 3 kommerzielle Anwendungen erfolgreich umgesetzt worden, die die Vorteile dieser Bauweise für die jeweiligen Einsatzfälle exemplarisch zu bestätigen in der Lage waren.

Aktuell wird im Zuge von Instandsetzungsarbeiten an einer Hängebrücke in Mettlach eine weitere Anwendung für den Straßenbrückenbau ausgeführt.

Introduction

Since 20 years a steel – elastomer composite material has been used worldwide for supporting structures and slab constructions. There are applications existing for ship decks, offshore platforms, high-rise floors, bridge decks and are unlimited in their variety. In 2005 the technology was implemented into Germany by Eiffel Deutschland Stahltechnologie GmbH (former ThyssenKrupp Stahlbau Hannover) and was accompanied on technically and scientifically base by Ministry of Transport and RWTH Aachen.

Since that time three commercial applications were built successfully which had the ability to demonstrate the advantages of the new technology.

Currently an additional application for bridge deck replacement is under construction for a suspension bridge in Mettlach.

1. Was ist SPS?

1993 wurde an der Carleton University in Ottawa ein Forschungsprojekt zur Entwicklung von Eisbarrieren zum Schutz von Offshore-Anlagen in der arktischen Beaufort-See ins Leben gerufen. Aus diesem entstand die Idee, einen tragfähigen Verbundquerschnitt aus Stahl und Kunststoff herzustellen, welcher die enormen Anprallkräfte aus den von einer aufgewühlten See bewegten Eismassen aufnehmen kann. Dieser sollte die Elastizität des Stahls ausnutzen im Zusammenwirken mit der Möglichkeit von Energiedissipation in einem Kunststoff.

Die Vermarktung dieser Idee war Basis der neu entstandenen kanadisch-englischen Firma Intelligent Engineering. Diese entwickelten zusammen mit der deutschen BASF einen Kunststoff, welcher die stahlbautypischen Vorteile mit den zusätzlichen bauphysikalischen Eigenschaften, die durch die Verbindung der Stahltafeln mit Kunststoff entstehen, in einem Tragelement vereint.

Beim SPS handelt es sich um einen Sandwichquerschnitt, der aus zwei außen liegenden Stahlplatten besteht, die einen festen Polyurethankern umschließen.

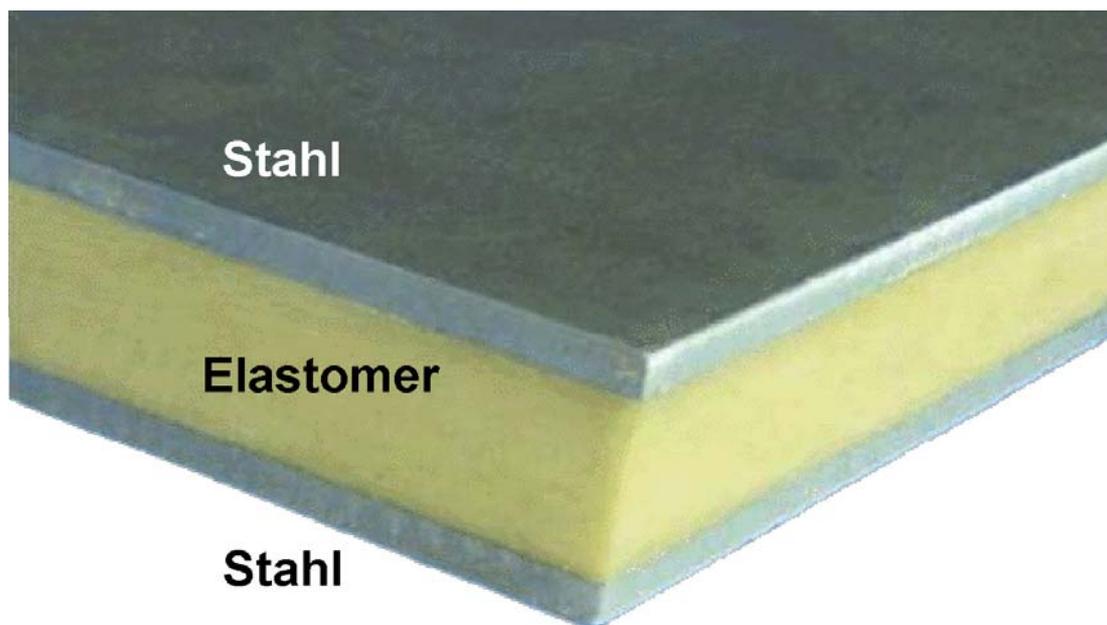


Bild 1. SPS-Struktur
Fig. 1. SPS-structure

Die phantastischen Haftungseigenschaften des speziell formulierten Polyurethans auf der Stahloberfläche führen zu einem hochbelastbaren Tragelement, welches auch große, dynamische Lasten aufnehmen kann.

Im Gegensatz zu den bekannten Sandwichelementen mit geschäumten PUR, die im Bauwesen als Fassaden- und Dachelemente eingesetzt werden, steht beim SPS die statische Tragwirkung und nicht die Bauphysik im Vordergrund. Aus diesem Grund besteht der Kunststoff aus einem massiven, nicht geschäumten Kern.

Erste kommerzielle Anwendungen für SPS waren die seit 2000 erfolgreich im Schiffbau für Schiffsdecks (z.B. bei RoRo-Decks) verwendeten SPS-Overlays. Wie im Stahlbau oft typisch, wurde auch mit dem SPS, eine Entwicklung aus dem Schiffbau für Stahlbauanwendungen eingesetzt.

Im Bauwesen finden sich vielfältige Anwendungsmöglichkeiten für den neuen Verbundquerschnitt. Er wird im Brückenbau als isotrope Fahrbahntafel eingesetzt, bei der die Aussteifung der Rippen durch die Bettung des Kunststoffs ersetzt wird.



Bild 2. Fahrbahndeck einer kanadischen Brücke in SPS-Bauweise (Dawson-Bridge)
Fig. 2. SPS-Bridge deck of Canadian Dawson-Bridge

Auch im Hochbau werden SPS-Platten als Etagendecken genutzt, die leichter sind als klassische Betonlösungen und gleichzeitig die stahlbautypischen Nachteile, wie fehlenden Dämpfung oder bauphysikalische Nachteile, wie Schallübertragung oder Isolierung, ohne Zusatzmaßnahmen ausgleicht.

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. Auch die Tribünenstufen des neuen Grandstand der Pferderennbahn im englischen Ascot bestehen aus SPS-Paneelen.

2. Daten und Fakten zur SPS Bauweise in Deutschland

- 1993 Entwicklung, SPS Eisbarrieren Beaufort Sea, Offshore, Ottawa, Kanada
- 1996 Gründung von Intelligent Engineering, Ottawa und London
- 1998 Patentierung SPS in US und WO
- 2003 Krupp Stahlbau (heute Eiffel Deutschland Stahltechnologie) wird Lizenznehmer SPS in Deutschland
- 2004 Forschungsprogramm RWTH Aachen (ZMB)
- 2004 Prototyp Fahrbahnplatten D-Brücke Normalfahrbahn (Österreich)
- 2004 Prototyp Fahrbahnplatte-Overlay D-Brücke Flachfahrbahn (Deutschland)
- 2005 Tonnenblechverstärkung U-Bahn Berlin BVG, Hochbahnbrücke U2 Schönhauser Allee
- 2005 BMVBS-Auftrag Overlay A57 Schönwasserparkbrücke Krefeld (800 m²)
- 2006 Gutachten der RWTH zum SPS-Overlay der Schönwasserparkbrücke
- 2006 BMVBS-Auftrag 10 Stück D-Brückenfahrbantafeln SPS-Overlay (180 m²)
- 2006 3.500m² SPS-Tribühnenstufenfertigung in Hannover für Ascot Racecourse
- 2007 SPS-D-Brücken-Overlay-Fahrbahn Vergleichseinsatz A59, Duisburg
- 2007 Abschlußbericht FOSTA-Forschungsvorhaben P628 (RWTH Aachen, Uni Do)
- 2007 STAHLBAU Themenheft SPS-System
- 2008 Typberechnung DIN FB 101 Verstärkung der DIN 1072 D-Brücken Fahrbahntafeln mit SPS
- 2010 Veröffentlichung FOSTA-Forschungsvorhaben P628 (RWTH Aachen, Uni Do)
- 2012 Fahrbahnerneuerung Saarbrücke Mettlach mit SPS-Paneelen (800m²)

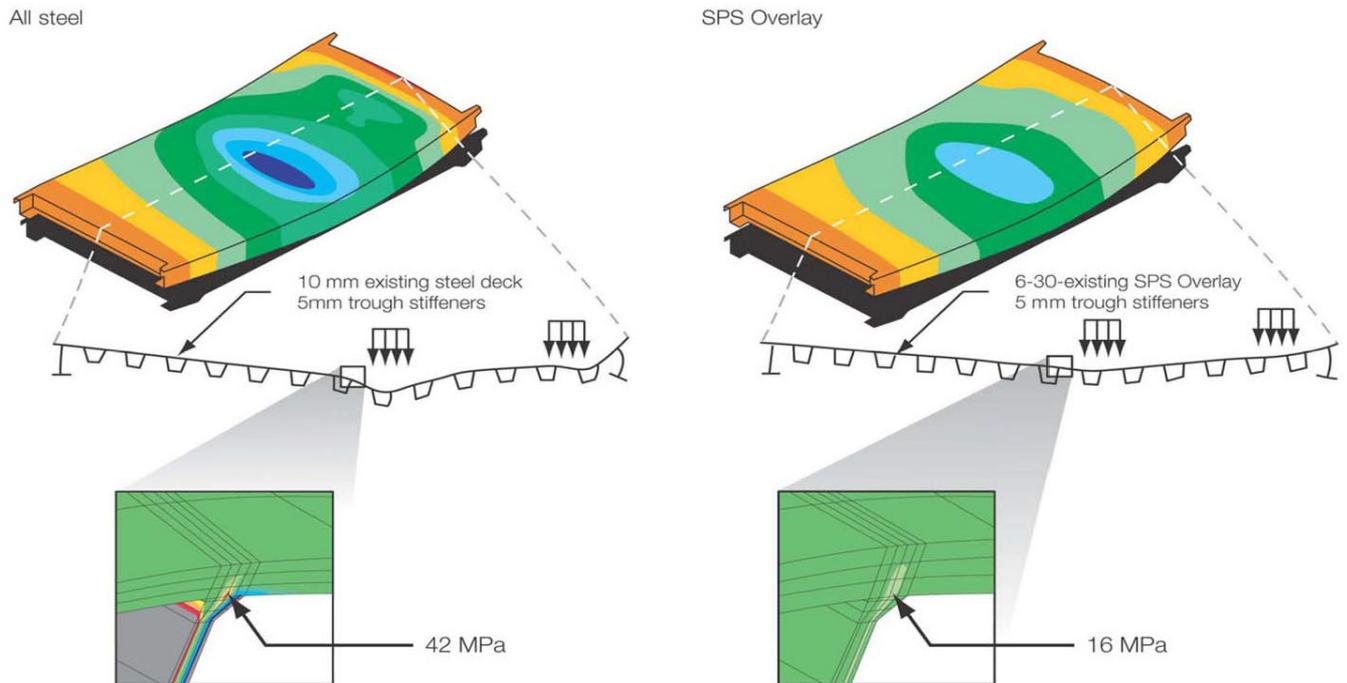


Bild 3. Eigenschaftsvergleiche
Fig. 3. Performance comparison

3. Das Brückenbau-Pilotprojekt in Deutschland (2005, Nordrhein Westfalen)

Vom deutschen Bundesverkehrsministerium wurde in 2005 ein Pilotprojekt zur Verstärkung von orthotropen Brückenfahrbahnen mit SPS gefördert. Bei diesem wurden die erwarteten Risschädigungen der Fahrbahntafel, die durch hohe dynamische Beanspruchung, durch den wachsenden Verkehr entstehen, mit dem SPS durch ein Overlay entschärft.

Um den Verkehr möglichst wenig zu beeinträchtigen, sollten die Arbeiten in den Sommerferien durchgeführt werden. Somit musste das gesamte Bauvorhaben in lediglich 6 Wochen verwirklicht werden.

Da es sich um ein Pilotprojekt handelte, stand eine wissenschaftliche Betreuung durch einen neutralen Gutachter im Vordergrund.



Bild 4. Testaufbau während der Analysephase vor Einführung der Bauweise in Deutschland
Fig. 4. Build-up for test while analysys phase before implementation of technology into Germany

Alle Bauzustände und das fertige Bauwerk wurden kontinuierlich durch den Stahlbaulehrstuhl der RWTH Aachen überwacht. Das Messprogramm der RWTH beinhaltete Messungen vor, während und nach der Verstärkungsmaßnahme. Da die Messbedingungen immer gleich sein mussten, störten die Untersuchungen den Bauablauf erheblich. So musste z.B. sämtliches Montagegerät vor jeder Messung von der Brücke geräumt werden, damit nur die Lasten des Lastfahrzeugs auf die Struktur wirkten.

Zusätzlich wurde die BAST beauftragt, den für den Kunststoff relevanten Heißeinbau der Asphaltsschicht 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.

Weil für die Stahl-Elastomer-Verbundquerschnitte keine Vorgaben einer Norm existieren, wurde auch für die Zulassung im Einzelfall ein der Bauweise angemessener Aufwand betrieben. So wurde die vom Ingenieurbüro Bild, Hagen, erstellte statische Berechnung durch den Prüflingenieur PSP (Professor Sedlacek und Partner) und einen zusätzlichen Sachverständigen, Professor Hanswille (Bergische Universität, Wuppertal) überprüft. Aufgrund der kurzen Vorlaufzeit und der Komplexität der Aufgabe vergab die Straßenbauverwaltung die Baumaßnahme mit allen Gewerken, einschließlich Verkehrsführung, Straßenbauarbeiten und Erneuerung der Leiteinrichtungen an Eiffel Deutschland Stahltechnologie als Generalunternehmer. Diese übernahm sämtliche Koordinierungsverantwortung und konnte somit die technisch und organisatorisch anspruchsvolle Aufgabe innerhalb der kurzen Bauzeitphase ohne übergeordnete Schnittstellenkoordination durchführen.

4. Eine Anwendung aus dem Bereich des Eisenbahnbrückenbaus

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 der durchgeführten Brückenprüfungen wurden verstärkt Ermüdungsschäden festgestellt. Auch rechnerische Untersuchungen zeigten, dass die theoretische Ermüdungsgrenze der Konstruktion in vielen Bereichen erreicht wurde.

Da die festgestellten Schäden die statische Funktion des Bauwerks beeinträchtigten, war es erforderlich, diese zu beseitigen und die kritischen Punkte der Brücken zu verstärken.

4.1. 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 Radienbereich und dem geraden Auflagerbereich zu den Querträgern.



Bild 5. Riss am Querträgeranschluss
Fig. 5. Crack at cross girder joint

Aus konstruktiven und fertigungstechnischen Gründen liegt diese Kantung nicht immer direkt am Querträgerflansch an. In den meisten Fällen sind hier Abstände von 0,5 bis 4,0 cm zu beobachten. Die Membranspannungen in den Tonnenblechen können somit nicht direkt in den Obergurt des Querträgers eingeleitet werden. 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 zeigt aber, dass die Grenze der Ermüdungsfestigkeit, je nach Annahme der Belastungshistorie, an dieser Stelle bereits erreicht ist bzw. nur noch eine kurze Restnutzungsdauer aufweist.

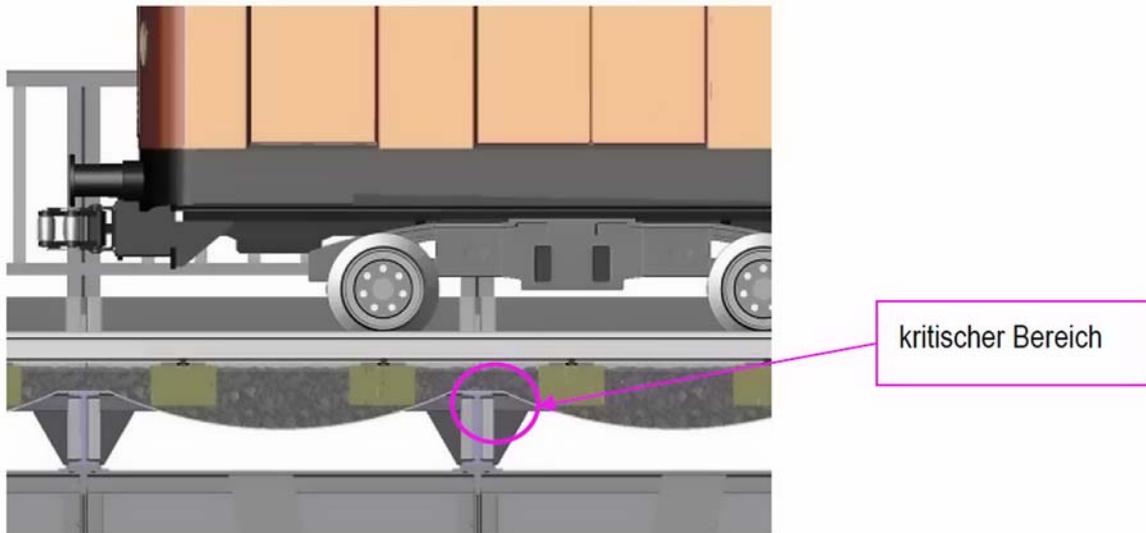


Bild 6. Längsschnitt durch die Brückentafel
Fig. 6. Longitudinal section of bridge

4.2. Die SPS-Underlay-Entwicklung zur Sanierung von Buckelblechen bei gleichzeitigem Beibehalten des klassischen Oberbaus aus Schiene-Schwelle-Schotter

Bei der Sanierung der Berliner Hochbahnbrücken wird aus dem vorhandenen Tonnenblech, einem darunter angeordneten zusätzlichen neuen Blech und dem diese beiden Bleche verbindenden Kunststoffkern, ein tragfähiger Sandwichquerschnitt hergestellt.

Die Gleisanlage und das Gleisbett auf der Brückenoberseite verbleiben in ihrem Zustand und werden von der Sanierungsmaßnahme nicht betroffen. Eine Beeinträchtigung des Schienenverkehrs findet nicht statt, weil sich die Arbeitsbereiche der Baumaßnahme unterhalb der Brücken befinden. Die Verstärkungsarbeiten an den Tonnenblechen werden während des laufenden Betriebes durchgeführt.

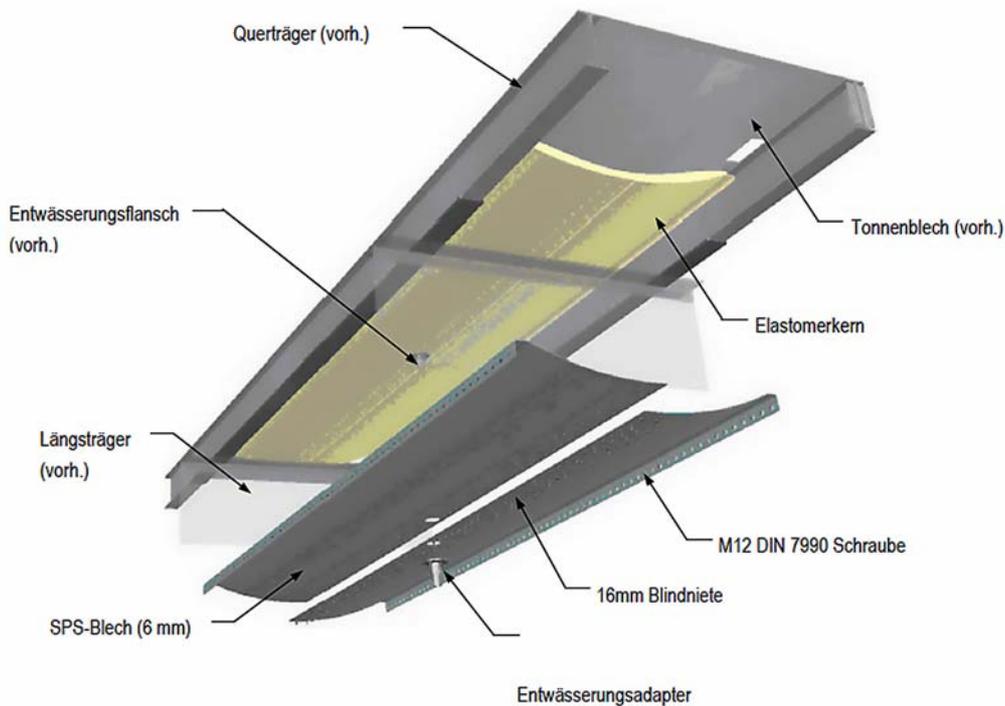


Bild 7. Unterseitig angeordnete SPS Sandwichplatten
Fig. 7. Bottomside arranged SPS-sandwich plates

4.3. Beschreibung des Arbeitsablaufs bei der Sanierung

Als vorbereitende Maßnahme wird die mittig unter der Brücke verlaufende Entwässerungsleitung entfernt und die Brückenunterseite mit Hochdruckverfahren gereinigt. Anschließend werden in die Querträgerstege Befestigungsbohrungen unter Zuhilfenahme eines Bohrschablons gebohrt. In diesen Bohrungen werden dann die neuen, mittig geteilten, der Tonnenform angepassten Fahrbahnbleche mit einem Abstand von ca. 30 mm unter der vorhandenen Konstruktion befestigt. Dies geschieht mittels stahlbautypischer M12 SL-Verschraubung. Durch die mittige Teilung können alle Fertigungstoleranzen und Bauwerksimperfektionen von der neuen Konstruktion aufgenommen werden.

Die Bleche werden an der mittigen Überlappung (160 mm ± Toleranzen) mittels Blindnieten (Durchmesser 16 mm) verbunden.

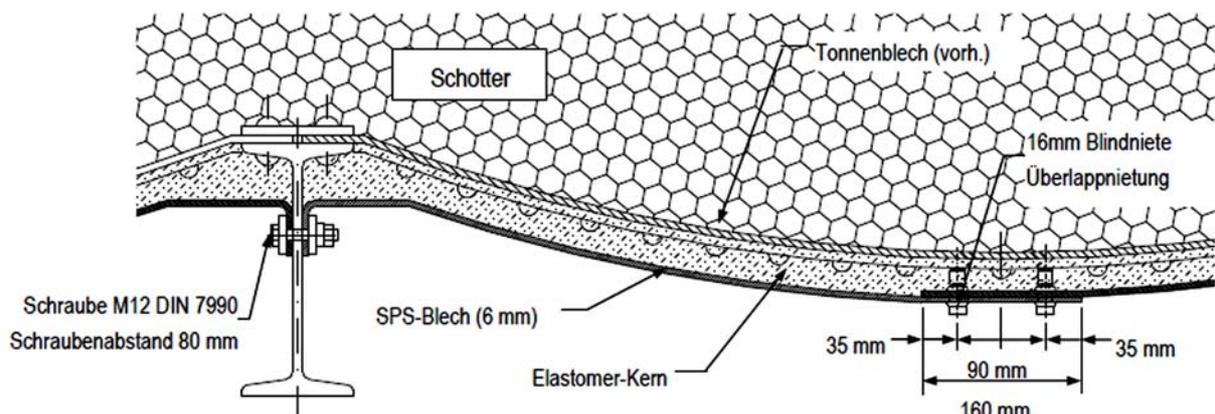


Bild 8. SPS – Sandwich-Querschnitt mit Verbindungsdetails
Fig. 8. SPS-sandwich section with connection details

Die nach außen liegenden Bereiche werden mittels EPDM-Dichtstreifen abgedichtet, so dass ein geschlossener Hohlraum (Kavität) entsteht. Das Dichtungssystem ist in der Lage Dichtspalte bis zu 100 mm zu schließen. Damit können alle in die Brücken der Berliner U-Bahn eingebauten Formen der Tonnenbleche, auch die kegelförmig hergestellten Fahrbahnbleche, mit dem System gedichtet werden.

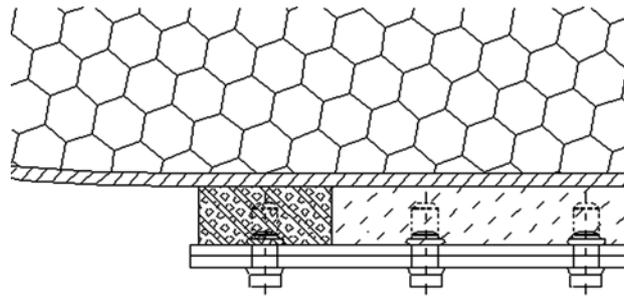


Bild 9. EPDM-Enddichtung
Fig. 9. EPDM sealing gasket

Über den Entwässerungsstutzen in der Mitte wird ein Adapterflansch gesteckt, der die Entwässerung gewährleistet und gleichzeitig den Hohlraum abdichtet. Die neuen Tonnenbleche erhalten an ihrem Tiefpunkt (neben der Entwässerung) einen Füllstutzen für die Injektion des Elastomerkerns. In den vier Eckbereichen, in den Hochpunkten der Underlay-Bleche, befinden sich Kugelhähne, durch die der Hohlraum während der Injektion entlüftet wird.

Qualitätssicherung

Das Injektionsverfahren zum Befüllen des Hohlraums zwischen dem neuen unteren Blech und dem vorhandenen Tonnenblech wird vollautomatisch mit einem Mischkopf und einer automatischen Pumpstation durchgeführt. Dabei werden die zwei Komponenten Polyol und Isocyanat immer im korrekten Mischverhältnis und mit dem optimalen Volumenstrom zusammengeführt. Eine automatische 100% Qualitätskontrolle des Füllvorgangs ist somit gegeben.



Bild 10. Mischkopf für Elastomerinjektion
Fig. 10. Injection head for elastomer injection

Zur Sicherstellung der optimalen Umgebungsverhältnisse in der Kavität wird ein Gebläse eingesetzt, welches bei allen Witterungsbedingungen auf der Baustelle die optimalen Umgebungsbedingungen schafft. Durch Messung der Temperatur und Luftfeuchtigkeit in der austretenden Luft wird der optimale Zeitpunkt für den Injektionsvorgang festgestellt.

Bei der BASF, als Lieferant des Materials und Injektionsequipments, werden an einem 1:1 Model des Sandwichmoduls Füll- und Dichtversuche durchgeführt. Dabei werden alle Parameter für den Injektionsvorgang ermittelt. Als Ergebnis der Versuchsreihen stehen die optimalen Einstellwerte für den Prozess auf der Baustelle zur Verfügung. Bei den Versuchen wird die Form mit Trennmittel bestrichen, mit dem Elastomer gefüllt und der entstandene Kunststoffkern nach Trennung des oberen und unteren Bleches bewertet. Damit existiert ein Verfahrensnachweis für den Herstellvorgang, der eine optimale Qualität des Kunststoffkerns gewährleistet.



Bild 11. Modell des Sandwichmoduls für Füllversuche
Fig. 11. Mock-up of sandwich module for injection tests

Vorteile der Sanierungsmethode mit SPS (Sandwich Plate System)

- Keine Beeinträchtigung des Verkehrs während der Umbauphase
- Keine Kosten für Schienenersatzverkehr
- Keine Kosten für den Ersatz der Gleisanlage
- Geringes technisches Risiko wegen des hohen Standards der Qualitätssicherung
- Korrosionsschutz an der Brückenunterseite wird ersetzt
- Entwässerung wird wartungsfreundlich umgebaut (T-Stücke mit Reinigungsöffnung)
- 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
- Kein Einbau zusätzlicher Konstruktionen erforderlich (Dilatationslager für feste Fahrbahn)

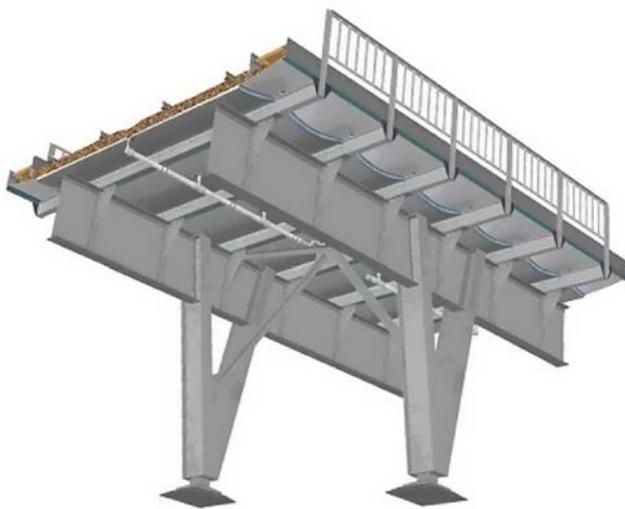


Bild 12. Ansicht eines mit SPS verstärkten
Brückenabschnitts
Fig. 12. View on strengthened SPS bridge section



Bild 13. Ausgeführte SPS-Verstärkung
*Fig. 13. ready-made SPS
reinforcement*

5. Dritte deutsche Brückenbauanwendung der SPS-Bauweise für die Sanierung, Instandsetzung und den Neubau von Stahlfahrbahnen

Der Eiffel Deutschland Stahltechnologie GmbH (EDS) wurde vom Landesbetrieb für Straßenbau Saarland (LfS) der Auftrag zur Erneuerung der Fahrbahntafel an der Saarbrücke in Mettlach erteilt. Die Fahrbahn der 1951 gebauten Hängebrücke über die Saar muss erneuert werden, weil andernfalls die Tragfähigkeit des Bauwerks auf Grund von Verschleiß, Korrosion und hohem Verkehrsaufkommen reduziert werden muss.

Die zweispurige Hängebrücke mit einer Stützweite von 108 m liegt in der Nähe der einzigartigen „Saarschleife“ und verbindet als innerstädtische Verbindung über die Saar die Stadtteile Mettlach und Keuchingen.



Bild 14. Hängebrücke Mettlach (Sicht vom südlichen Widerlager)
Fig. 14. Suspension bridge Mettlach (view from south)

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 Brückenarchitektur. Sie besteht aus dem schlanken Kabeltragwerk einer Hängebrückenkonstruktion und hat als Innovation eine der ersten Fahrbahntafeln in Stahl-Verbundbauweise. Nachdem der Beton aktuell große Schäden aufweist und die Tragkabel an Tragfähigkeit verloren haben, fiel im Ergebnis eines Analyseprozesses die Entscheidung, an diesem eleganten und erhaltenswerten Bauwerk das neue, innovative Sandwich-Plate-System als neue Stahlleichtfahrbahn einzubauen.

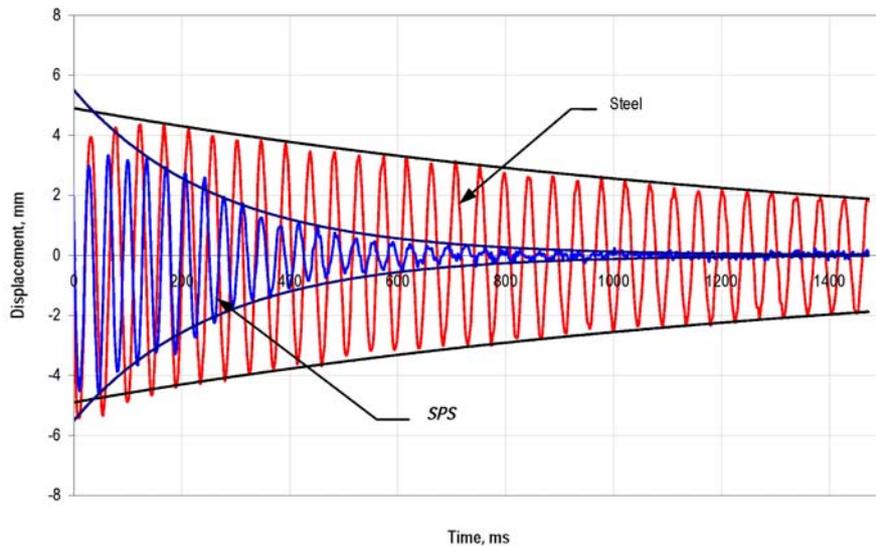


Bild 15. Grafische Auswertung der Dämpfungseigenschaften von Stahl und SPS
Fig. 15. Graph of damping behaviour of steel and SPS

Im konkreten Fall wird der massive Kunststoffkern Verkehrslärmemissionen reduzieren, weil kein stahlbautypischer Resonanzkörper vorhanden ist und der Kunststoff als Dämpfungselement wirkt.

Aufgrund der leichten und schlanken Konstruktion war SPS die ideale technische Lösung für die Renovierung der innerstädtischen Saarbrücke in Mettlach.



Bild 16 Computermodell der Hängebrücke Mettlach
Fig. 16. Computer model of suspension bridge Mettlach

Verschiedene Sanierungsmethoden wurden ausgewählt und deren Leistungen mittels einer Studie verglichen. Es wurden Sanierungskonzepte mit einer Fahrbahn aus hochfestem Beton in Verbundbauweise, der klassischen orthotropen Stahlbauweise und dem SPS-Deck erstellt, bei denen sich das SPS-Brückendeck als bestes herausstellte.

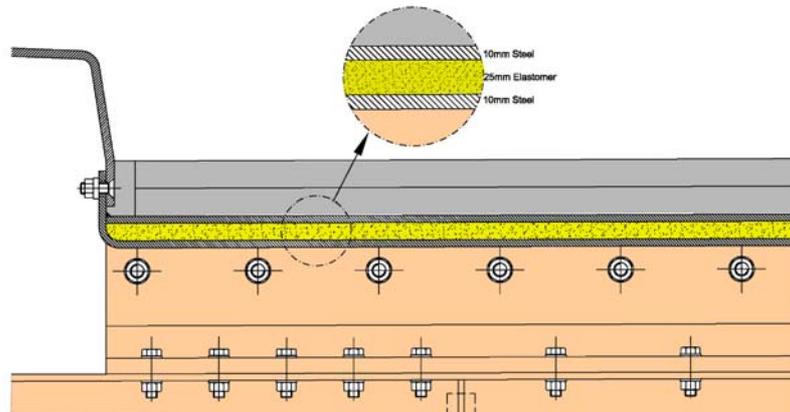


Bild 17. Fahrbahnaufbau in SPS-Bauweise für die Brücke Mettlach
 Fig. 17. Roadway construction in SPS-design for Mettlach-Bridge

Durch die Verwendung der SPS-Bauweise kann das Fahrbahngewicht von 500 t auf 200 t reduziert werden.

Dadurch wird es möglich, das erhöhte Verkehrsaufkommen der aktuellen Normung für die Brücke anzusetzen und dies bei gleichzeitiger Entlastung der Spannungen in den Tragkabeln. Gegenüber der ebenso leichten orthotropen Fahrbahnplatte wurde das SPS-Design ausgewählt, weil die Bauhöhe der SPS-Platte kleiner einem Viertel der Bauhöhe der orthotropen Platte ist. Die SPS-Fahrbahn konnte so ohne Gradientenänderung in die vorhandene Brücke eingepasst werden.

Die Arbeiten auf der Baustelle werden im November 2012 beginnen und sollen im Februar 2013 abgeschlossen sein.

6. Zusammenfassung

Die aktuellen Aufgaben im Zuge von Instandsetzungen von Stahltragwerken infolge geänderter Lastmodelle, vorliegenden Schäden und Überlastungen von Tragwerken oder Tragwerksteilen im Stahlbrückenbau sind effizient und kostengünstig durch die SPS-Bauweise mitzulösen. Dabei ist offensichtlich, dass mit der SPS-Bauweise nicht alle Bauaufgaben angegangen werden können, jedoch ist bei ergebnisoffener Variantenuntersuchung und der prinzipiellen Einbeziehung des Systems in die Lösungsalternativen von einer Vielzahl weitere Anwendungen auszugehen.

7. Ihr Ansprechpartner für das SPS SandwichPlateSystem

Eiffel Deutschland Stahltechnologie GmbH
 Büro Duisburg
 Friedrich-Ebert-Straße 134
 47229 Duisburg

Dipl.-Ing. Thomas Stihl

tstihl@eiffel.eiffage.de
 + 49 (0)2065 / 823-003
 + 49 (0)173 / 6799-733

Literaturverzeichnis

- [1] Gutachten zum Nachweis der Verbesserung der Dauerhaftigkeit durch SPS-Verstärkungen an Hochbahnabschnitten der U-Bahnlinie U2, Berlin; RWTH Aachen, Prof. Dr.Ing. G. Sedlacek, 12.05.2005
- [2] SPS-Overlay for the Berlin U-Bahn Viaduct; Report by Intelligent Engineering, Ottawa, Canada, Dr. Stephen Kennedy, July 2004
- [3] Sanierung der Hochbahnbrücken der Berliner U-Bahn mittels Sandwich-Verstärkungen, Präsentation KSH, T. Stihl, 12.08.2004
- [4] Erkenntnisse und Bewertung von Verfahren zur Grundinstandsetzung stählerner Hochbahntrassen; Uwe Heiland, Thomas Stihl, Stefan Henschke, Stahlbaunachrichten, September 2012, Deutscher Stahlbauverband DSTV, Düsseldorf