



## Brückenbau – Gestaltung und Konstruktion

**SPS - System:**  
6-30-12(exist.)

<b>Meistermann GmbH &amp; Co. AG</b> Werkhof/Verwaltung/Außendienst: Mühlenallee 12, 43000 Mülheim Telefon: ... Telefax: ... Werts: Musterstraße 14, 43000 Mülheim Fax: ...			
Rückzahlungsanfrage Kunden-Nr. Name Adresse		Einzahlungsbetrag Vbl-Nr. Datum Lohnschein-Nr.	
Menge (m³) abwärts abwärts	Erzeugnis M 20/24	Festigkeit M 24	Verwendet M 24
Lieferrichtung Richtung im Uhr im Uhr	Bewehrungsart Bewehrungsart	Bewehrungsart Bewehrungsart	Bewehrungsart Bewehrungsart
BO 10/20 13,00 13,15 13,30 14,00 15	235 204 31	Tabelle 3.1.2 beachten! Tabelle 3.1.2 beachten! Tabelle 3.1.2 beachten!	

Betriebssitz Gelsenkirchen, Raum B001-B003

07. Mai 2013

Leitung: Dr.-Ing. Gero Marzahn

# Seminar AD0021008

## Brückenbau – Gestaltung und Konstruktion

07. Mai 2013 in Gelsenkirchen, Betriebssitz, Raum B001-B003

Leitung: Dr.-Ing. Gero Marzahn

# Seminarablauf

09:45 – 10:00	<b>Begrüßung und Einleitung</b>	<b>Dr.-Ing. Marzahn</b> LS NRW, Betriebssitz
10:00 – 11:00	<b>Robuste Stahl – Verbundbrücken mit hoher Baugeschwindigkeit</b>	<b>Dipl.-Ing. Wolf / Dipl.-Ing. Röder</b> SSF Ingenieure AG, Köln
11:00 – 11:30	Kaffee - / Teepause	
11:30 – 12:30	<b>SPS-Technologie</b>	<b>Dipl.-Ing. Stahl / Dipl.-Ing. Matuschek</b> Eiffel Deutschland Stahltechnologie GmbH, Duisburg
12:30 – 13:30	Mittagspause	
13:30 – 14:30	<b>Erläuterungen zu den neuen Ausführungsnormen DIN EN 13670 und DIN 1045-3</b>	<b>Dr.-Ing. Kiltz</b> Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein e.V., Bochum
14:30 – 15:00	Kaffee - / Teepause	
15:00 – 16:00	<b>Annahme von Beton und Überwachung des Betoneinbaus auf der Baustelle</b>	<b>Dr.-Ing. Kiltz</b> Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein e.V., Bochum
16:00	<b>Schlusswort</b>	<b>Dr.-Ing. Marzahn</b> LS NRW, Betriebssitz

## SPS-SandwichPlateSystem – SPS-Fahrbahnen für Straßenbrücken

Dipl.-Ing. Thomas Stihl  
Dipl.-Ing. Johann Matuschek  
Eiffel Deutschland Stahltechnologie GmbH

### 1. Das SPS-System

Das Sandwich-Plate-System (SPS) (Entwickler „Intelligent Engineering“, Ottawa zusammen mit der Elastogran/BASF, Lemförde) verbindet zwei Stahldeckbleche mit einem Kern aus Polyurethan Elastomer zu einem Sandwich (Bild 1) der in zwei Schritten hergestellt wird:

1. Zusammenbau des Oberblechs und Unterblechs mit Abstandhaltern und Randleisten durch Schweißung oder Klebung, so dass geschlossene Hohlräume, sogenannte Kavitäten entstehen (Bild 2).
2. Injektion des 2-komponentigen flüssigen Polyurethans in die Kavität, das beim Erhärten mit dem Oberblech und Unterblech eine zug- und schubfeste mechanische Verbindung eingeht, wodurch eine tragende Verbundkonstruktion entsteht.

Biegesteifigkeit und Festigkeit der Sandwichplatte lassen sich durch entsprechende Geometriewahl (Blech- und Elastomerdicken) anpassen und so wählen, dass diese denen einer konventionell ausgesteiften Stahlkonstruktion entsprechen. Durch das vollständig verbundene Elastomer werden die Stahlbleche kontinuierlich gestützt: lokales Beulen wird so verhindert, ohne dass zusätzliche Steifen angeschweißt werden müssen; Schubkräfte lassen sich von einem Stahlblech zum anderen übertragen.

Die Stahlbleche müssen vor der Montage gesandstrahlt und die Kavitäten vor der Injektion des Elastomers sauber und trocken sein. Das Aushärten geht mit Wärmewirkung und Volumenausdehnung einher, die durch Niederhalter unterdrückt wird (Druckbildung). Nach der Aushärtung des Elastomers besteht vollständiger Verbund mit den Stahldeckblechen - die Schubfestigkeit in der Verbundfuge zwischen Elastomer und Stahl beträgt mindestens 4 MPa.

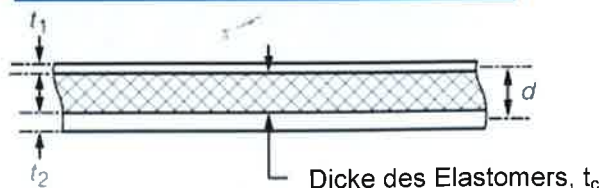
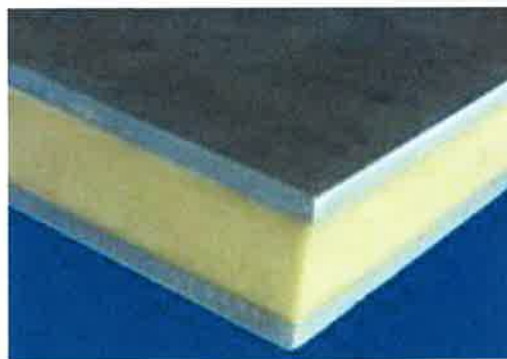


Bild 1: Geometrische Daten des SPS-Systems

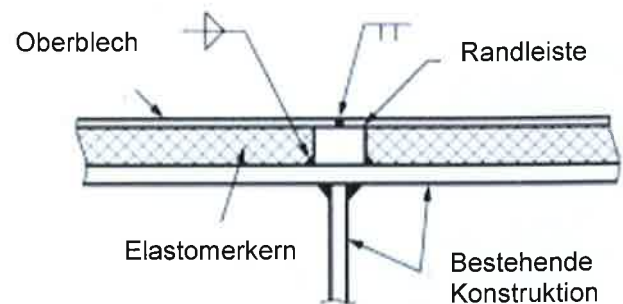


Bild 2: Abschluss einer Kavität durch aufgeschweißte Randleisten, die gleichzeitig Unterlage für den Schweißstoß der Oberbleche sind

### 2. SPS-Anwendungen im Stahlbau

Die Haftungseigenschaften des speziell formulierten Polyurethans auf der Stahloberfläche führen zu einem hochbelastbaren Tragelement, welches auch hohe, 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 Reparaturen von 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 verwendet, bei der die aussteifenden Rippen durch die Bettung des Kunststoffs ersetzt werden. Auch im Hochbau werden SPS-Platten als Etagendecken genutzt. Sie sind leichter als klassische Betonkonstruktionen und gleichzeitig gleichen die stahlbautypischen Nachteile, wie fehlenden Dämpfung oder bauphysikalische Nachteile, wie Schallübertragung oder Isolierung, ohne Zusatzmaßnahmen aus. Überall 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 besteht aus SPS-Paneeelen.

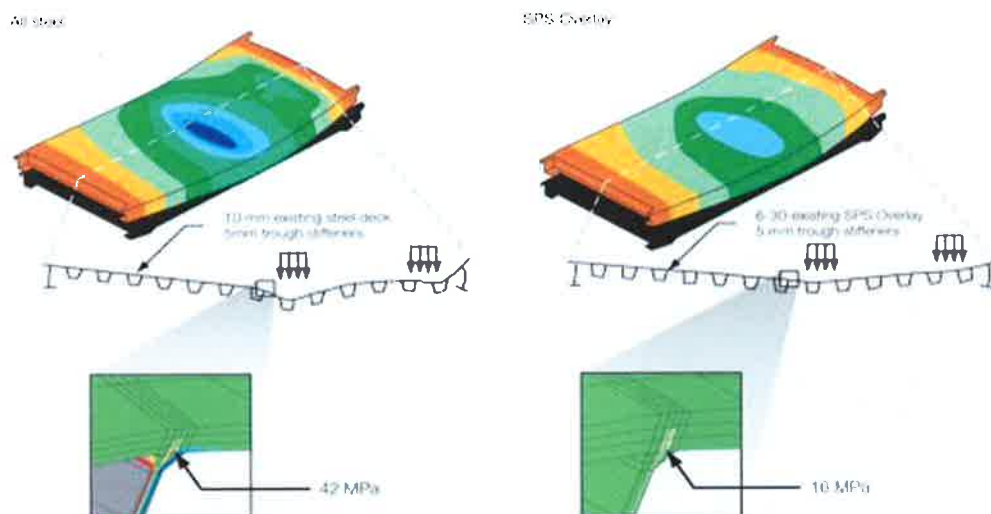


Bild 3. Eigenschaftsvergleiche

### 3. 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
- 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 Overlay A57 Schönwasserparkbrücke Krefeld (800 m<sup>2</sup>)
- 2006 Gutachten der RWTH zum SPS-Overlay der Schönwasserparkbrücke
- 2007 SPS-D-Brücken-Overlay-Fahrbahn Vergleichseinsatz A59, Duisburg
- 2007 Abschlußbericht FOSTA-Forschungsvorhaben P628 (RWTH Aachen, Uni Do)
- 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-Paneeelen (800m<sup>2</sup>)

### 4. SPS-Fahrbahnen auf Straßenbrücken

Durch seine Konstruktionsweise stellt das SPS-System Lösungen für die Sanierung defekter und maderer Fahrbahntafeln von Straßenbrücken zur Verfügung. Besonders an Stahl- und Stahlverbundbrü-



cken, die älter als 30 Jahre sind, zeigen sich auf Grund von starken dynamischen Beanspruchungen, speziell aus dem Schwerverkehr, vermehrt Schäden im Bereich der Lasteinleitung, sprich der Fahrbahntafel.

Für die Sanierung dieser Fahrbahntafeln bietet das SPS folgende Möglichkeiten:

- SPS-Overlay für Stahlbrücken mit orthotroper Fahrbahn,
- SPS-Paneelplatten für Stahlbrücken mit Stahlbeton- und Stahlbetonverbundplatten (ohne Vorspannung)

## 5. SPS-Overlay

Von der BASt wurden die dynamischen Schäden an Stahlbrücken untersucht und kategorisiert. Die Kategorie I Schäden an orthotropen Fahrbahntafeln können durch das Aufbringen eines SPS-Overlays dauerhaft saniert werden.

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

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

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.

Zusätzlich wurde die BASt beauftragt, den für den Kunststoff relevanten Heißeinbau der Asphalt-schicht 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 sie durch eine Zulassung im Einzelfall genehmigt. So wurden die vom Ingenieurbüro Bild, Hagen, erstellten statischen Berechnungen sowohl durch den Prüfungenieuren (PSP, Professor Sedlacek und Partner) wie auch zusätzlich durch einen Sachverständigen, Professor Hanswille (Bergische Universität, Wuppertal) überprüft.

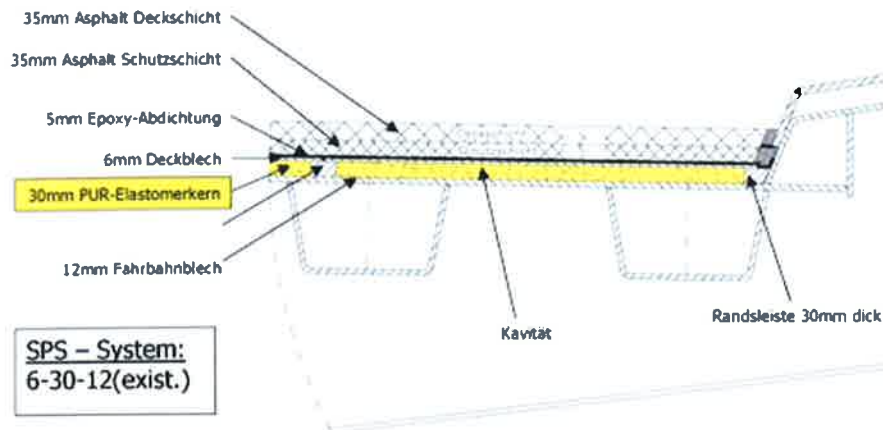


Bild 5. SPS-Querschnitt Fahrbahn Pilotprojekt Schönwasserparkbrücke

## 6. Herstellung der Kavitäten (geschweißte Stahlboxen)

Patentierter Grundidee des SPS-Systems ist die Stabilisierung von dünnen Blechhäuten ohne aufschweißen von Steifen und Rippen. Die orthotrope Platte (orthogonal anisotrop = unterschiedliche Steifigkeit in unterschiedlichen Richtungen) wird durch eine isotrope Platte (gleich Steifigkeit in alle Richtungen) ersetzt. Diese Platte besteht aus den Deckblechen, die von Randleisten auf Abstand gehalten werden. Fügeverfahren zur Herstellung dieser Stahlhohlräume ist Schweißen (Bild 7, 8).



Bild 6. Randleistenrahmen bei SPS-Overlay



Bild 7. Schweißen des Deckbleches

Da die relativ dünnen Bleche während der Herstellung der Kavitäten noch keine Stabilisierung durch den Kunststoff erfahren, sind möglichst energiearme Schweißverfahren zu verwenden, welche den Schweißschumpf minimieren. Gleichzeitig sind Fixierung der Leisten und Rahmen durch Heftschiweißung zu minimieren bzw. möglichst zu vermeiden, weil die beim anschließenden Schweißen der Kavitäten entstehenden Zwängungen durch Schumpf zum Beulen der Deckbleche führen kann.



Bild 8. Schweißen der Randleisten



Bild 9. Kleben der Randleisten

Festlegen der Schweißfolge mit freiem Schrumpfen der Bleche ist essentielles Know-How für die Kavi-

tätenherstellung. Gleichzeitig wird dadurch die Qualität der Schweißverbindung erhöht, da nur spannungsarme Schweißverbindungen die erforderlichen Form- und Lagetoleranzen gestatten.



Bild 10. Schweißfolge eines Deckenpanels

Wenn konstruktive Bedingungen es gestatten, wird das Schweißen der Bleche auf die Randleisten durch Fügen mittels Klebverfahren ersetzt (Bild 9).

## 7. Kunststoffverarbeitung in der Stahlbauwerkstatt und auf der Baustelle

Die entscheidende Entwicklung der SPS-Technik bestand darin, die Kunststoffinjektion für die 2-komponentigen Elastomere, die für die Fabrikfertigung entwickelt wurde und dort seit Jahrzehnten eingesetzt wird, an die Umgebungsbedingungen eines Baustelleneinsatzes anzupassen

Polyol + Isocyanat = Polyurethan



Bild 11. PUR-Mischanlage



Bild 12. Mischkopf

Robuste, wetterunempfindliche Technik, die den hohen Qualitätsanforderungen im Bauwesen entspricht, musste entwickelt und serienreif gemacht werden.

Es wird die seit 10 Jahren im Schiffbau mit großem Erfolg eingesetzte Technik der Firma Intelligent Engineering verwendet. Eine auf einem Raupenfahrwerk selbstfahrende, vollautomatische und computergesteuerte Injektionsmaschine der Fa. Krauss-Maffei kam auf der Schönwasserparkbrücke erstmalig zum Einsatz (Bild 13). Sie wurde durch die BASF-Tochter Elastogran speziell für die Anforderungen von Baustelleninjektionen entwickelt. Mit dieser Maschine ist es möglich, auch schwer zugängliche Bauorte zu erreichen und die Elastomerinjektion in der erforderlichen Qualität durchzuführen.



Bild 13. Kunststoffinjektion



Bild 14. Qualitätssicherung mit SONALIS



Zur Qualitätssicherung der Sandwich-Schichten wurde ein spezielles Testverfahren entwickelt, welches eventuelle Fehlstelle in der Haftungsschicht zwischen dem Stahlblech und dem Kunststoffkern sowie Luftblasen detektieren kann. Herkömmliche Techniken wie Ultraschall liefern keine Ergebnisse, weil die unterschiedliche Dichte der Kompositbestandteile immer ein Signal verursacht. Aus diesem Grund wurde ein Messverfahren (SONALIS) entwickelt, bei dem die Schallantwort auf ein Klopfsignal ausgewertet wird. Mit Hilfe eines geeichten Schlagwerks, welches in einem Messkopf untergebracht ist und einem Mikrofon, werden die Signale erzeugt und mittels einer elektronischen Auswerteinheit verarbeitet.

An der Schönwasserparkbrücke wurde ein Messprogramm durchgeführt, bei dem die Fahrbahn in einem Raster von 30 cm x 30 cm „abgeklopft“ wurde (Bild 14)

#### **8. Sanierung und Instandsetzung von Stahlbrücken mit Stahlbeton- und Stahlbetonverbundplatten (ohne Vorspannung)**

Eine weitere Bauform des SPS für die Brückensanierung sind die Paneelplatten. Bei diesen werden die aussteifenden Stahlelemente der orthotropen Platte durch den Kunststoff ersetzt. Es entsteht ein isotropes Bauteil, welches die konstruktionsbedingten Nachteile der orthotropen Platte beseitigt.

Wirtschaftlich wird diese Bauweise, wenn Querträgerabstände < 3 m vorliegen und das Bauwerk geringe Bauhöhen der Fahrbahntafel benötigt.

Diese und weitere der innerstädtischen Lage geschuldeten Bedingungen führten zum Einsatz von SPS an der Saarbrücke in Mettlach. Die Fahrbahn der 1951 gebauten Hängebrücke über die Saar musste erneuert werden, weil andernfalls die Tragfähigkeit des Bauwerks auf Grund von Verschleiß, Korrosion und hohem Verkehrsaufkommen hätte reduziert werden müssen. 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. Sie ist eine wichtige Verkehrsverbindung in dieser touristischen Region, für die keine vollständige Sperrung oder größere Verkehrsbehinderungen erlaubt sind.



Bild 15. Hängebrücke Mettlach (Sicht vom südlichen Widerlager )

In den 1950er Jahren stellte die Brücke ein Pionierprojekt für leichte Brückenarchitektur dar. Sie besteht aus dem schlanken Kabeltragwerk - einer Hängebrückenkonstruktion und hat als damalige Innovation eine der ersten Fahrbahntafeln in Stahl-Verbundbauweise. Nachdem der Fahrbahn-Beton aktuell große Schäden aufwies und die Tragkabel an Tragfähigkeit verloren haben, begannen Planungen zur Instandsetzung des Bauwerkes.

Aufgrund der leichten und schlanken Konstruktion war SPS als eine mögliche Lösung für die Renovierung der innerstädtischen Saarbrücke in Mettlach untersucht worden.



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.

Nach einem Kriterienkatalog wurden Merkmale der Bauweisen bewertet. Unter anderem wurden auch zum Dämpfungsverhalten der bestehenden und der neuen Fahrbahn Überlegungen angestellt

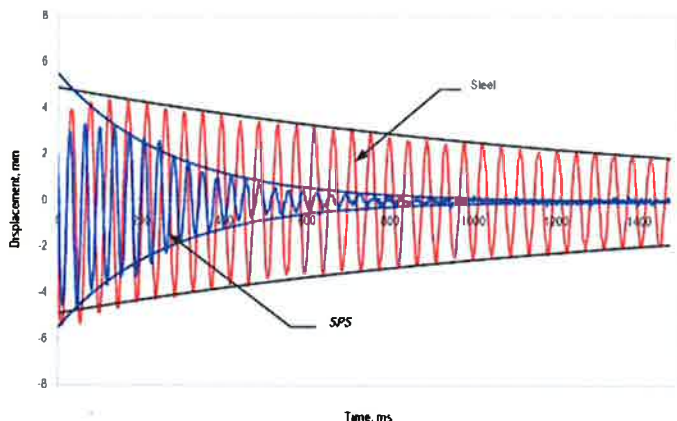


Bild 16. Grafische Auswertung der Dämpfungseigenschaften von Stahl und SPS

Im konkreten Fall konnte gezeigt werden, dass der massive Kunststoffkern Verkehrslärmemissionen zu reduziert, weil kein stahlbautypischer Resonanzkörper vorhanden ist und der Kunststoff als Dämpfungselement wirkt.



Bild 17 Systemanalyse (Tragkomponenten aus dem statischen Modell)

Im Ergebnis eines Analyseprozesses fiel die Entscheidung, an diesem Bauwerk das Sandwich-Plate-System als neue Stahlleichtfahrbahn einzubauen.

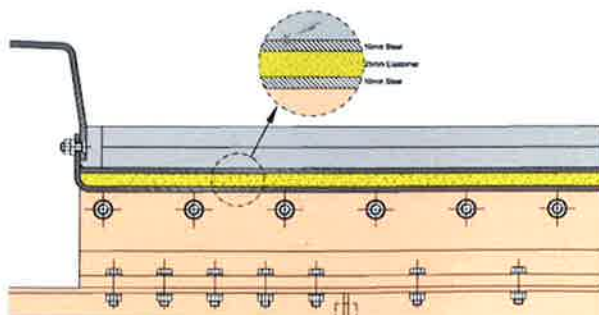


Bild 18. Fahrbahnaufbau in SPS-Bauweise für die Brücke Mettlach

Durch die Verwendung der SPS-Bauweise war es möglich das Fahrbahngewicht von 500 t auf 200 t zu reduzieren.

Dadurch konnte das erhöhte Verkehrsaufkommen der aktuellen Normung für die Brücke angesetzt werden und das bei gleichzeitiger Entlastung der Spannungen in den Tragkabeln.

Gegenüber der ebenso leichten orthotropen Fahrbahnplatte wurde das SPS-Design u.a. deshalb ausgewählt, weil die Bauhöhe der SPS-Platte nur ein Viertel der Bauhöhe der orthotropen Platte ist. Die SPS-Fahrbahn konnte so ohne Gradientenänderung in die vorhandene Brücke eingepasst werden.

Die Bauweise erlaubt einen hohen Vorfertigungsgrad.



Bild 19. Serienfertigung von Fahrbahnplatten

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



Bild 20. Ausführungssituation 5. Februar 2013

## **9. Zusammenfassung**

Die infolge geänderter Lastmodelle, vorliegenden Schäden und Überlastungen von Tragwerken oder Tragwerksteilen von Stahlbrücken können im effizient und kostengünstig durch die SPS-Bauweise saniert werden. Dabei ist offensichtlich, dass mit der SPS-Bauweise nicht alle Bauaufgaben gelöst werden können, jedoch ist bei ergebnisoffener Variantenuntersuchung und der prinzipiellen Einbeziehung des Systems in die Lösungsalternativen mit einer Vielzahl weitere Anwendungen zu rechnen

## **Literaturverzeichnis**

- [1] Kennedy, S.J.: Das Sandwich-Platten-System (SPS). Stahlbau 76 (2007), H. 7, S. 455–464.
- [2] Matuschek, J., Stihl, T., Bild, S.: Verstärkung der orthotropen Stahlfahrbahn der Schönwasserparkbrücke mittels Stahl-Elastomer-Sandwich (SPS). Stahlbau 76 (2007), H. 7, S. 465–471.

- [3] *Minten, J., Sedlacek, G., Paschen, M., Feldmann, M., Geßler, A.*: SPS-ein neues Verfahren zur Instandsetzung und Ertüchtigung von stählernen orthotropen Fahrbahnplatten. Stahlbau 76 (2007), H. 7, S. 438–454.
- [4] *Friedrich, H.*: Schönwasserparkbrücke: Untersuchung zur thermischen Beanspruchung von SPS beim Einbau bituminöser Fahrbahnbeläge. Stahlbau 76 (2007), H. 7, S. 472–477.
- [5] *Feldmann, M., Sedlacek, G., Möller, S., Geßler, A., Ungermann, D., Kalameya, J.*: Herstellung von Stahlfahrbahnen in Sandwichbauweise mit verringertem Schweißaufwand. Forschungsbericht P628, aus der Reihe Forschung für die Praxis, ISBN 3-937567-92-5, Forschungsvereinigung Stahlanwendung e.V., Düsseldorf, 2010.
- [6] *Sedlacek, G., Feldmann, M., Paschen, M., Geßler, A.*: SPS-applications in bridge design – safety and economy aspects, PU Magazine, Volume 2, No 4, October 2005. pp. 246-250.
- [7] *Feldmann, M., Sedlacek, G., Geßler, A.*: A System of Steel-Elastomer Sandwich Plates for Strengthening Orthotropic Bridge Decks. Mechanics of Composite Materials, journal, Vol. 43, No. 2, Institute of Polymer Mechanics, University of Latvia 2007, Seite 271-282.
- [8] *Kennedy, S. J.*: SPS Bridge Deck Design Guidelines. Intelligent Engineering Limited, Nov 2010.
- [9] *Uwe Heiland, Thomas Stihl, Stefan Henschke.*: Erkenntnisse und Bewertung von Verfahren zur Grundinstandsetzung stählerner Hochbahntrasse; Stahlbaunachrichten, September 2012, Deutscher Stahlbauverband DSTV, Düsseldorf
- [10] *Thomas Stihl, Carsten Chassard, Markus Feldmann, Stefan Bild.*: Neue Technologie für die Hängebücke über die Saar in Mettlach-Brückenfahrbahn aus Sandwich Plate System (SPS), Ernst und Sohn, Berlin, Stahlbau 82 (2013), Heft 3

---

**Eiffel Deutschland Stahltechnologie GmbH**

Friedrich-Ebert-Straße 134  
47229 Duisburg

Dipl.-Ing. Thomas Stihl  
Tel. 02065 823 003  
Mobil: 0173 6799 733

Dipl.-Ing. Johann Matuschek  
02833 388 551  
0172 10 28 923