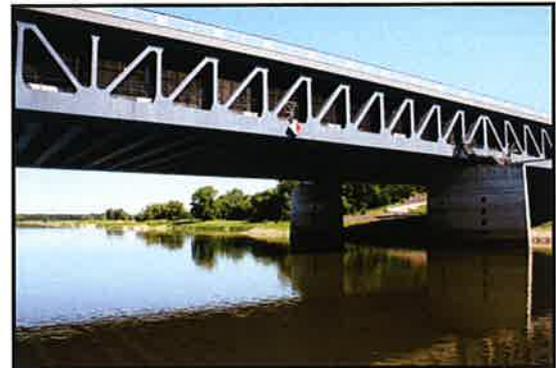
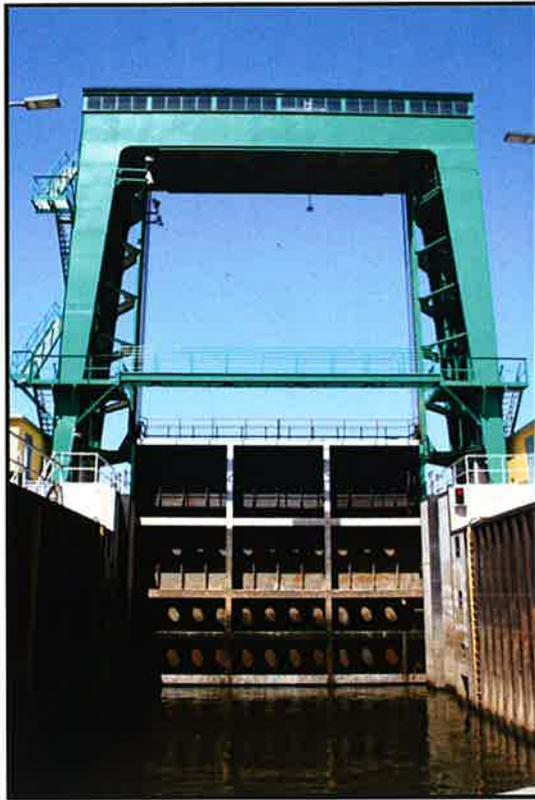


23. Schweißtechnische Fachtagung 2013



16. Mai 2013
Tagungsband

Schweißtechnische Fachtagung

Vorträge der gleichnamigen Fachtagung
in Magdeburg am 16. Mai 2013

Gemeinschaftsveranstaltung des DVS – Deutscher Verband für Schweißen und verwandte Verfahren e. V., des Lehrstuhles Fügetechnik des Institutes für Werkstoff- und Fügetechnik der Universität Magdeburg und der Schweißtechnischen Lehranstalt Magdeburg gGmbH

Inhaltsverzeichnis

Vorwort

Plenarvortrag

C. Pohlmann, Hamburg
Schweißen im Dunkeln

Fachvorträge

T. Stihl, Hannover
SPS-SandwichPlateSystem - Geschweißte Stahlboxen mit Kunststofffüllung, innovative Bauelemente für den Stahlbau

J. Schröder, C. Lorenz, D. Ohms, Magdeburg
Dreidimensionales Warmumformen und Schweißen von dickwandigen Stahlblechen für Windenergieanlagen

H. D. Kocab, Mündersbach
Modifizierte Lichtbögen zum Einsatz bei hochfesten Stählen und im Windturmbau

N. Woywode, Magdeburg
Richtig oder falsch - Gestaltungslösungen bei Schweißkonstruktionen

A. Pelz, F. Napalowski, Thale
Moderne schweißtechnische Verschleißschutzkonzepte für die Schwerindustrie

C. Fink, M. Zinke, Magdeburg
Einsatzpotential geregelter Kurzlichtbogenprozesse beim MSG-Schweißen von Ni-Basislegierungen

J. Pitzer, R. Kring, Haiger
Auswahl und Einsatz moderner Roboterzellen in kleinen und mittleren Betrieben

SPS-SandwichPlateSystem - Geschweißte Stahlboxen mit Kunststofffüllung, innovative Bauelemente für den Stahlbau

T. Stihl, Hannover

1. Das SPS-System

Das patentierte 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 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, so dass 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 sein, die Kavitäten müssen 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.

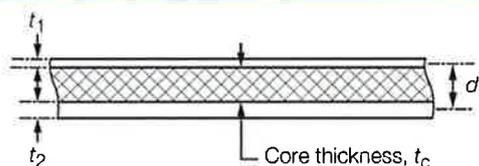
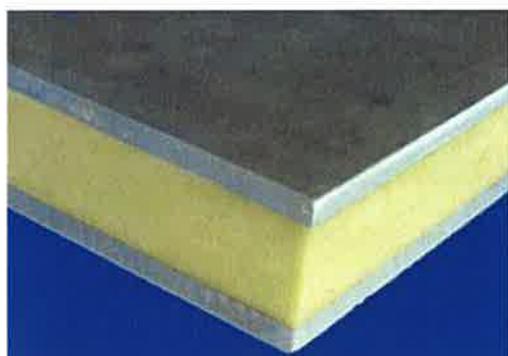


Bild 1: Geometrische Daten des SPS-Systems

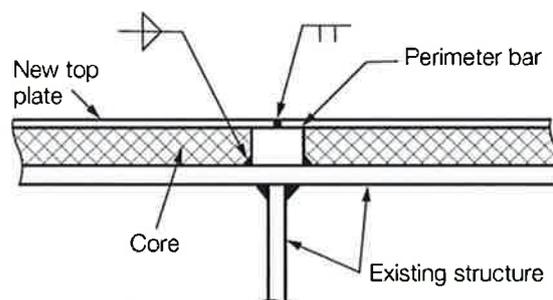


Bild 2: Abschluss einer Kavität durch aufgeschweißte Randleisten, die gleichzeitig Unterlage für den Schweißstoß der Oberbleche sind

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 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

Auch im Hochbau erfolgt die Nutzung von SPS-Platten als Etagendecken, die leichter sind als klassische Betonlösungen und gleichzeitig die stahlbautypischen Nachteile, wie fehlende Dämpfung oder bauphysikalische Nachteile, 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. Auch die Tribünenstufen des neuen Grandstand der Pferderennbahn im englischen Ascot bestehen aus SPS-Paneelen.

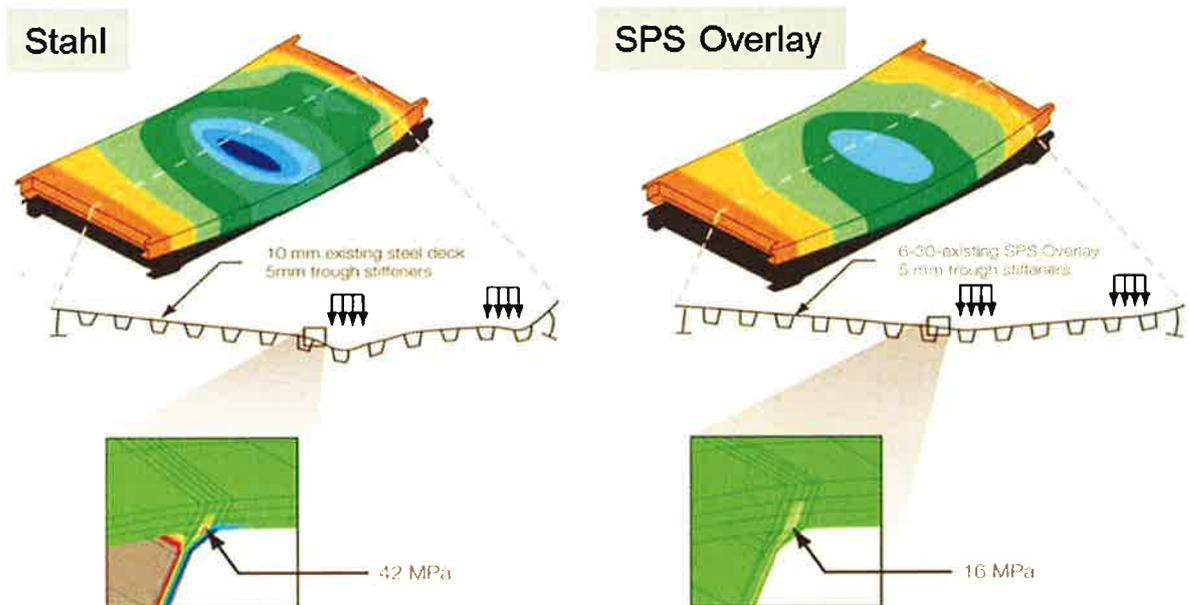


Bild 3: Eigenschaftsvergleiche einer Komponente aus Stahl und SPS-Overlay

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 m²)
- 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-Paneelen (800 m²)

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

Alle Bauzustände und das fertige Bauwerk wurden kontinuierlich durch den Stahlbaulehrstuhl der RWTH Aachen überwacht. Das Messprogramm der RWTH beinhaltete Messungen, die vor, während und nach der Verstärkungsmaßnahme durchgeführt worden sind.

Zusätzlich wurde die BAST beauftragt, den für den Kunststoff relevanten Heißeinbau der Asphaltdeckschicht 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 Prüfinstanz Prüfenieur (PSP, Professor Sedlacek und Partner) wie auch zusätzlich durch einen Sachverständigen, Professor Hanswille (Bergische Universität, Wuppertal) überprüft.

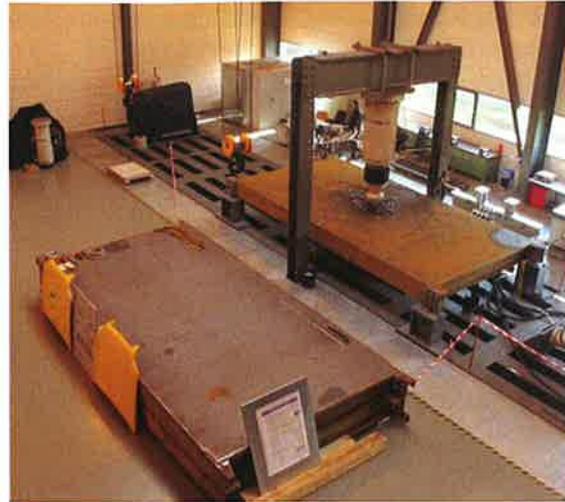


Bild 4: Testaufbau während der Analysephase vor Einführung der Bauweise in Deutschland

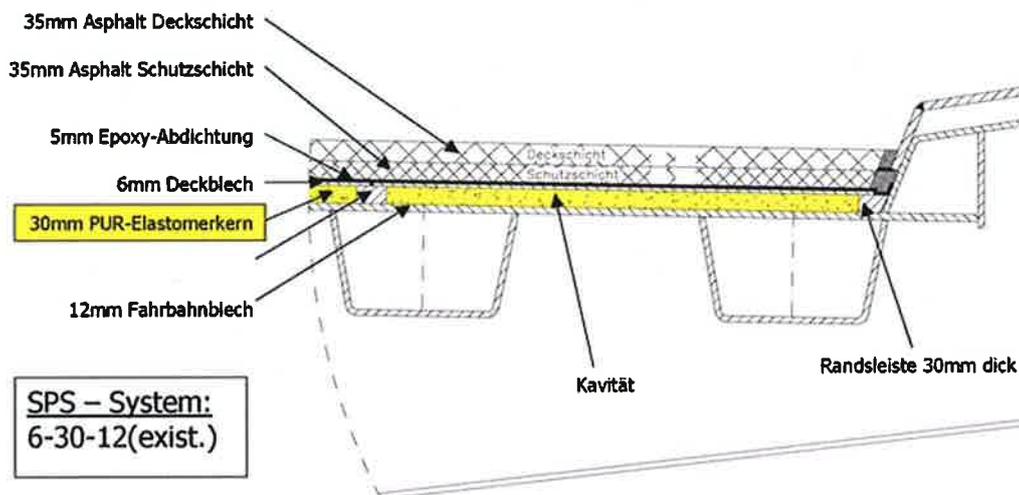


Bild 5: SPS-Querschnitt Fahrbahn Pilotprojekt Schönwasserparkbrücke

5. Herstellung der Kavitäten (geschweißte Boxen)

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 Blechhäuten, die von Randsleisten auf Abstand gehalten werden. Das Fügeverfahren zur Herstellung dieser Stahlboxen ist das Schweißen (Bild 6 bis 8).

Da nun die relativ dünnen Bleche während der Herstellung der Kavitätenboxen noch keine Stabilisierung durch den Kunststoff erfahren, sind möglichst energiearme Schweißverfahren zu verwenden, welche den Schweißschrunpf minimieren. Gleichzeitig sind die Fixierung der Leisten und Rahmen durch Heftscheidungen zu minimieren bzw. möglichst zu vermeiden, weil die beim anschließenden Schweißen der Kavitäten entstehenden Zwängungen durch die Schrumpfung zum Beulen der Deckbleche führt.

Das Festlegen der Schweißfolge mit freiem Schrumpfen der Bleche ist essentielles know-how für die Kavitätenherstellung. Gleichzeitig wird dadurch die Qualität der Schweißverbindung erhöht, weil nur spannungsarme Schweißverbindungen die erforderlichen Form- und Lagetoleranzen gestatten. Wenn konstruktive Bedingungen es erlauben, wird das Schweißen der Blechhäute auf die Randleisten durch Fügen mittels Klebverfahren ersetzt (Bild 9).



Bild 6: Randleistenrahmen bei SPS-Overlay



Bild 7: Schweißen des Deckbleches

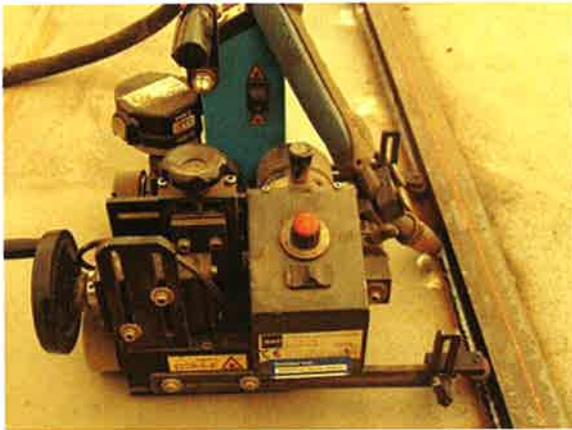


Bild 8: Schweißen der Randleisten

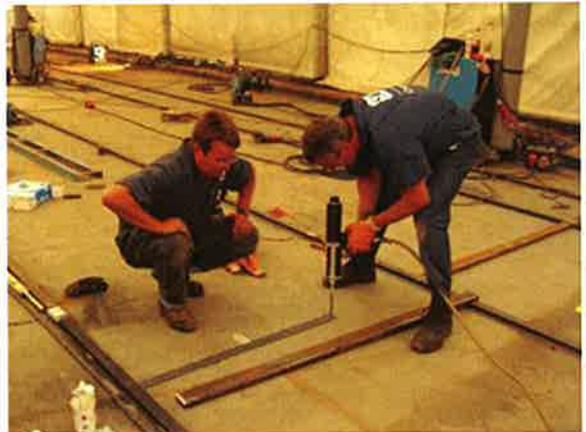


Bild 9: Kleben von Randleisten

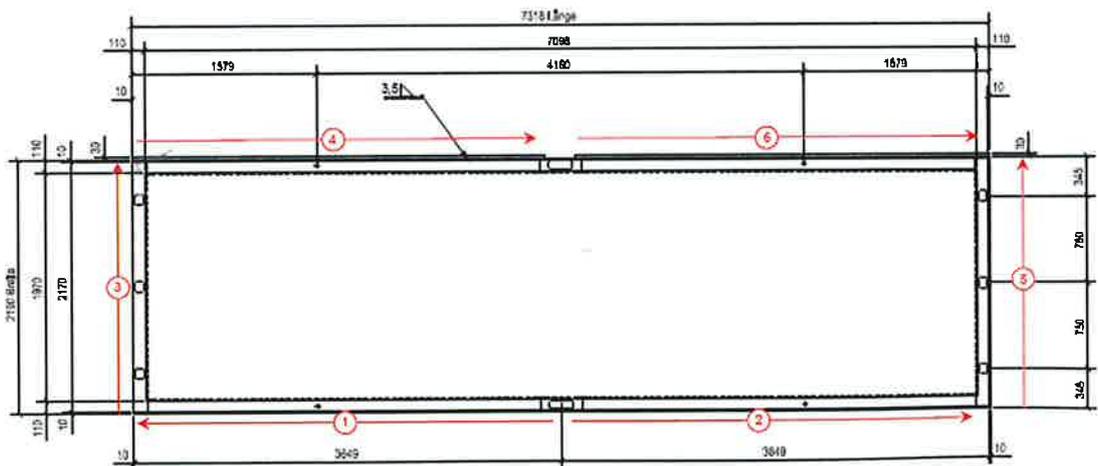


Bild 10: Schweißfolge eines Deckenpanels

6. Kunststoffverarbeitung in der Stahlbauwerkstatt und auf der Baustelle

Die entscheidende Entwicklung der SPS-Technik bestand darin, die Kunststoffinjektionstechnik für 2-komponentige Elastomere, die für die Fabrikfertigung entwickelt wurde und dort seit Jahrzehnten eingesetzt wird, an die Umgebungsbedingungen eines Baustelleneinsatzes anzupassen (Bild 11 und 12). Es musste eine robuste, wetterunempfindliche Technik, die den hohen Qualitätsanforderungen im Bauwesen entspricht, entwickelt und serienreif gemacht werden. Daher wird die seit 10 Jahren im Schiffbau mit großem Erfolg eingesetzte Technik der Firma Intelligent Engineering verwendet.

Polyol + Isocyanat = Polyurethan



Bild 11: PUR-Mischanlage



Bild 12: Mischkopf Kleben von Randleisten

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 Firma Elastogran GmbH 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.

Zur Qualitätssicherung der Sandwich-Schichten bestand die Notwendigkeit ein spezielles Testverfahren zu entwickeln, welches eventuelle Fehlstellen 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 zu einem Signal führt.

Deshalb wurde ein Messverfahren (SONALIS) entwickelt, bei dem die Schallantwort auf ein Klopf-signal ausgewertet wird. Mit Hilfe eines geeichten Schlagwerks, das in einem Messkopf untergebracht ist, und einem Mikrofon, werden die Signale erzeugt und mittels einer elektronischen Auswerteinheit verarbeitet. Detektiert und angezeigt werden „Bonded“ = verbunden, „Debonded“ = kein Verbund und „uncertain“ = unsicher => Neumessung.

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



Bild 13: Kunststoffinjektion



Bild 14: Qualitätssicherung mit SONALIS

7. Sanierung und Instandsetzung der Verbundfahrbahn der Hängebrücke Mettlach (2012/13)

Die Fahrbahn der 1951 gebauten Hängebrücke über die Saar war zu erneuern, 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. 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 50er Jahren dieses Jahrhunderts 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 Fahrbahn-Beton aktuell große Schäden aufwies und die Tragkabel an Tragfähigkeit verloren haben, begannen die 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.

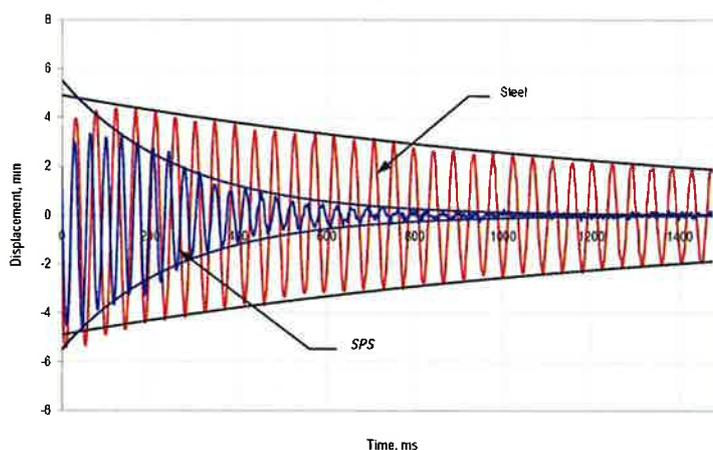


Bild 16: Grafische Auswertung der Dämpfungseigenschaften von Stahl und SPS

Im konkreten Fall konnte gezeigt werden dass der massive Kunststoffkern Verkehrslärmemissionen zu reduzieren in der Lage sein würde, weil kein stahlbautypischer Resonanzkörper vorhanden ist und der Kunststoff als Dämpfungselement wirkt. Im Ergebnis des Analyseprozesses fiel die Entscheidung, an diesem Bauwerk das Sandwich-Plate-System als neue Stahlleichtfahrbahn einzubauen.

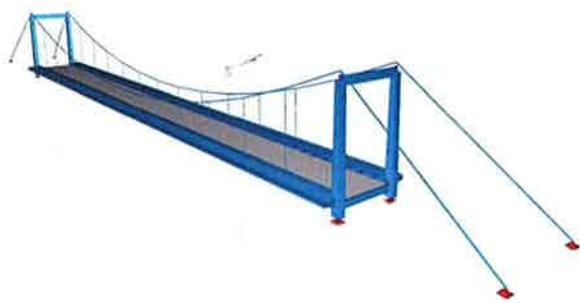


Bild 17: Systemanalyse (Tragkomponenten aus dem statischen Modell)

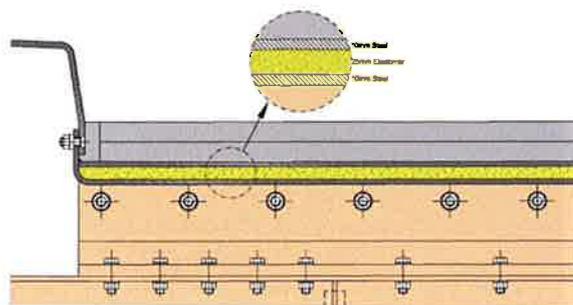


Bild 18: Fahrbahnaufbau in SPS-Bauweise für die Brücke Mettlach

Durch die Verwendung der SPS-Bauweise war es möglich das Fahrbahngewicht von 500 auf 200 t zu reduzieren. Dadurch konnte bei gleichzeitiger Entlastung der Spannungen in den Tragkabeln das erhöhte Verkehrsaufkommen der aktuellen Normung für die Brücke angesetzt werden. Gegenüber der ebenso leichten orthotropen Fahrbahnplatte wurde das SPS-Design u. a. deshalb ausgewählt, weil die Bauhöhe der SPS-Platte kleiner einem Viertel der Bauhöhe der orthotropen Platte war. Die SPS-Fahrbahn konnte so ohne Gradientenänderung in die vorhandene Brücke eingepasst werden. Diese Bauweise erlaubt einen hohen Vorfertigungsgrad. Die Arbeiten auf der Baustelle wurden im November 2012 begonnen und im März 2013 abgeschlossen.



Bild 19: Serienfertigung von Fahrbahntafeln



Bild 18: Ausführungssituation 5. Februar 2013

8. 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 weiterer Anwendungen auszugehen.

9. Literatur

- [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 Hängebrücke über die Saar in Mettlach-Brückenfahrbahn aus Sandwich Plate System (SPS), Ernst und Sohn, Berlin, Stahlbau 82 (2013), Heft 3.