

## Reparatur von Rissen am Deckblech – Kategorie-1-Schäden

*Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Natalie Stranghöner, Christoph Lorenz M.Sc.,*

*Universität Duisburg-Essen, Institut für Metall- und Leichtbau, Essen*

*Univ.-Prof. Dr.-Ing. Edeltraud Straube, Dipl.-Ing. Marcel Knauff*

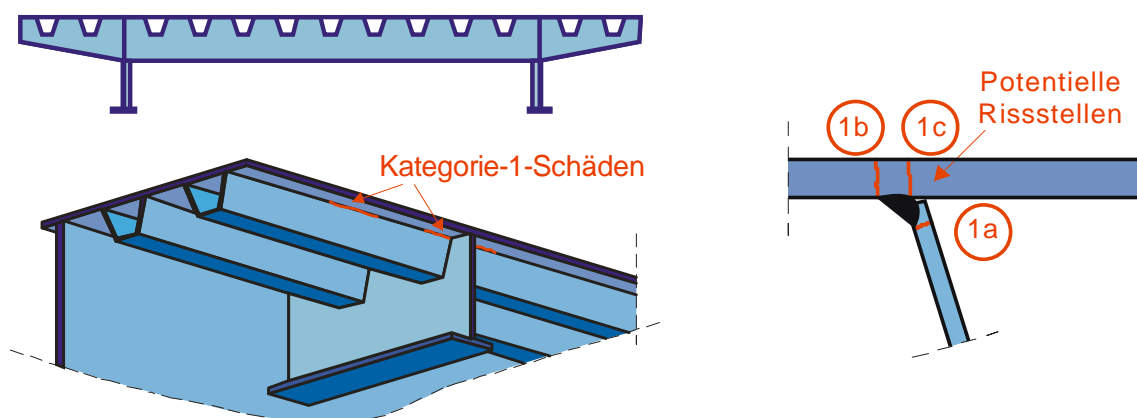
*Universität Duisburg-Essen, Institut für Straßenbau und Verkehrswesen, Essen*

### Zusammenfassung

Kategorie-1-Schäden bei orthotropen Fahrbahnplatten treten als bauweisenunabhängige Schäden in Form von Rissen im Anschlussbereich Deckblech-Längsrippe auf. Zur Vermeidung dieser Schäden sind geeignete Instandsetzungsmaßnahmen zu entwickeln, die zu einer Verminderung der Spannungen und Durchbiegungen in den gefährdeten Bereichen führen. Im Rahmen eines aktuellen Forschungsvorhabens an der Universität Duisburg-Essen wird der Ansatz verfolgt, einen modifizierten Fahrbahnbelag bestehend aus einem mit Epoxydharz oder alternativ mit Bioharz verfüllten Asphaltträgergerüst mit erhöhter mittragender Wirkung einzusetzen. Des Weiteren wird im vorliegenden Beitrag der Einsatz von Betonfertigteilen aus UHPC erläutert.

### 1 Einleitung

Die in den letzten Jahrzehnten immens gestiegenen Beanspruchungen aus Schwerlastverkehr (Gesamtgewichte, Achslasten, Verringerung der Reifenaufstandsfläche etc.), siehe ausführliche Erläuterungen im Beitrag „Ertüchtigung im Stahlbrückenbau“ [1] im Rahmen dieser Vortragsveranstaltung, haben u. a. zu zahlreichen Schäden im Anschlussbereich zwischen Deckblech und Längsrippen geführt, die als Kategorie-1-Schäden bezeichnet werden, siehe auch Bilder 1 und 2.

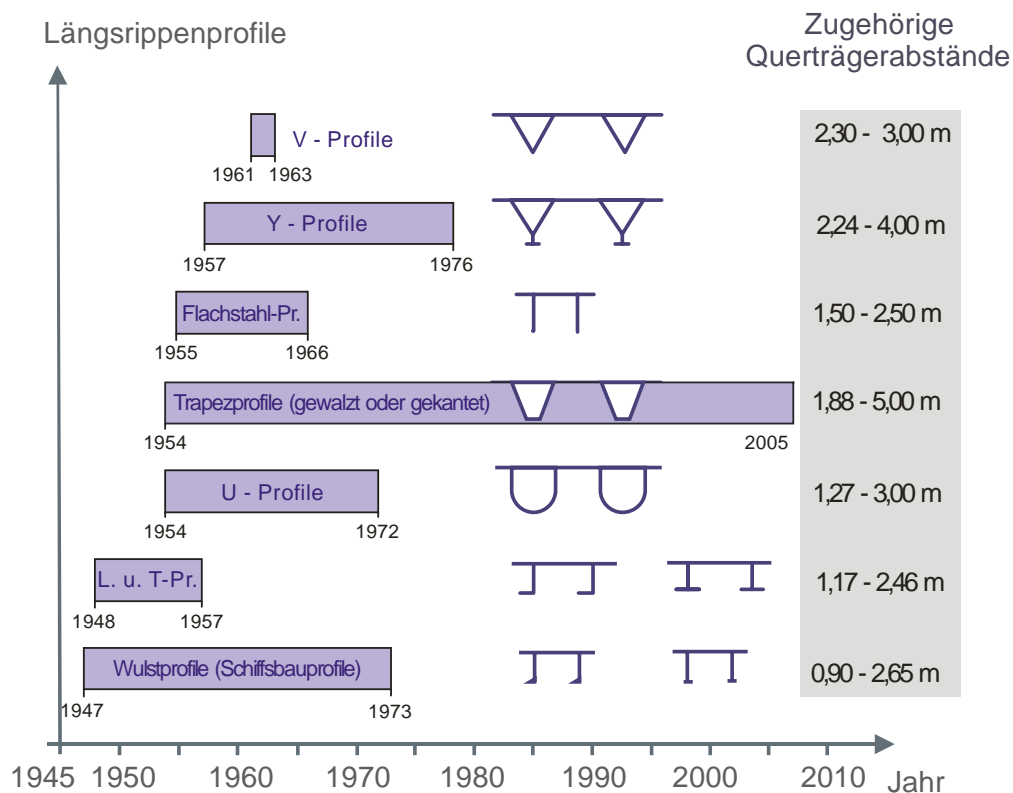


**Bild 1:** Kategorie-1-Schäden: Risse im Anschlussbereich Deckblech-Längsrippe



**Bild 2:** Typische Risse im Anschlussbereich Deckblech-Längsrippe an der Rheinbrücke Leverkusen  
© R.Lange GmbH, Moers

Die Risse in den Schweißnähten zwischen Längsrippen und Deckblech treten bauweisenunabhängig auf, so dass die zu entwickelnden Instandsetzungsmaßnahmen unabhängig von den in der Vergangenheit eingesetzten unterschiedlichen Längsrippenprofilen anzuwenden sind. Bild 3 zeigt eine Übersicht über die historische Entwicklung der Längsrippenprofile bei orthotropen Fahrbahnplatten [2].



**Bild 3:** Historische Entwicklung der Längsrippenprofile bei orthotropen Fahrbahnplatten nach [2]

Die Instandsetzung von Kategorie-1-Schäden bei orthotropen Fahrbahnplatten von Stahlbrücken im Bestand beinhaltet im Wesentlichen zwei Aspekte:

1. Sanierung der in der Regel gerissenen Anschlussnähte zwischen Längssteife und Deckblech als Reparaturmaßnahme und anschließende
2. Ertüchtigung der orthotropen Fahrbahnplatte mit dem Ziel der Spannungsbegrenzung und Verringerung der Durchbiegung als Ursachenbekämpfung.

Empfehlungen zur Sanierung der gerissenen Schweißnähte sind im DVS-Merkblatt 1709 [3] enthalten. Zur Ertüchtigung der orthotropen Fahrbahnplatte zur Verringerung der Spannungen und Durchbiegungen existieren zwar erste Forschungsarbeiten und Pilotversuche, allerdings ist keine der untersuchten Maßnahmen soweit ausgereift, dass sie standardmäßig eingesetzt werden kann. Im Rahmen des bereits abgeschlossenen Forschungsvorhabens „Nachhaltige Instandsetzung und Verstärkung von orthotropen Fahrbahnplatten von Stahlbrücken unter Berücksichtigung des Belagssystems“ [4] wurden die folgenden Maßnahmen betrachtet und gegenübergestellt:

- Sandwich Plate System (SPS),
- Hochfester Beton mit Stahlfasern als Ortbeton,
- Aufgeklebte Stahlbleche sowie
- Hohlraumreiches Asphalttraggerüst mit nachträglicher Verfüllung (HANV).

Im Rahmen eines weiteren, vom BMVBS beauftragten und von der BASt betreuten Forschungsvorhabens erfolgen derzeit am Institut für Metall- und Leichtbau in Kooperation mit dem Institut Straßenbau und Verkehrswesen, beide Universität Duisburg-Essen, Untersuchungen zur Effizienzsteigerung der Fahrbahnplatte durch Entwicklung eines modifizierten Fahrbahnbelags bestehend aus einem mit Epoxidharz oder alternativ mit Bioharz verfüllten Asphalttraggerüst mit dem Ziel der Erhöhung der mittragenden Wirkung [5].

## **2 Instandsetzung nach DVS-Merkblatt 1709**

### **2.1 Allgemeines**

Das DVS-Merkblatt 1709 [3] zur „Instandsetzung und Verstärkung von orthotropen Fahrbahnplatten“, Ausgabe Mai 2008, enthält im Wesentlichen Empfehlungen für die Durchführung schweißtechnischer Instandsetzungsmaßnahmen bei Rissen an den Details:

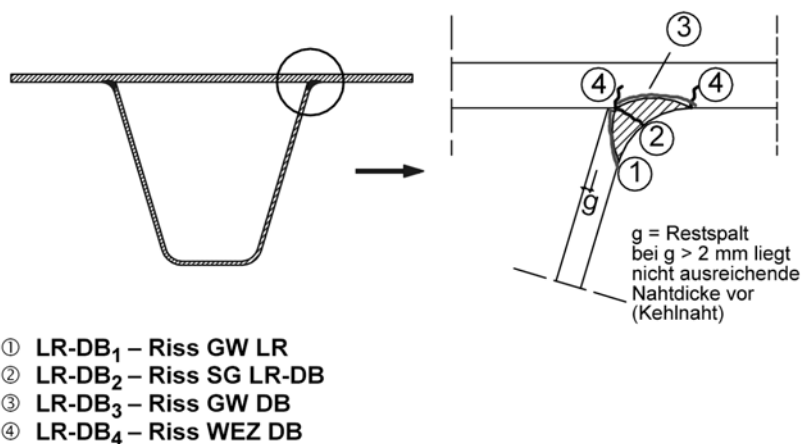
- Verbindung der Längsrippe mit dem Deckblech (Kategorie-1-Schaden),
- Verbindung der Längsrippe mit dem Querträger (Kategorie-2-Schaden),
- Längsrippenstoß (Kategorie-2-Schaden) und
- Verbindung Deckblech mit dem Querträger (Kategorie-3-Schaden).

Das Merkblatt gibt des Weiteren Hinweise zur Schadensaufnahme und -analyse nach dem Leitfaden „Objektbezogene Schadensanalyse“ (OSA) der BASt [6] und definiert u. a. Anforderungen

sowohl an die an der Instandsetzung beteiligten Planungsbüros und ausführenden Fachfirmen als auch an die Montageanweisungen und Schweißpläne bzw. Schweißfolgepläne. Ferner werden konkrete Handlungsanweisungen zur Reparatur von Rissen an den oben genannten Details gegeben, auf die im Nachfolgenden für das Detail des Schweißnahtanschlusses Deckblech-Längsrippe näher eingegangen wird.

## 2.2 Reparatur von Rissen in den Anschlussnähten zwischen Deckblech und Längssteifen – Kategorie-1-Schäden

Das DVS-Merkblatt 1709 unterscheidet die in Bild 4 dargestellten vier Risstypen, wobei diese von den in Bild 1 dargestellten Risstypen geringfügig abweichen und letztendlich zwei zusätzliche Risstypen definiert werden: Typ LR-DB<sub>2</sub>: Riss im Schweißgut zwischen Längsrippe und Deckblech sowie Typ LR-DB<sub>3</sub>: horizontal verlaufender Riss im Grundwerkstoff des Deckblechs. Sofortmaßnahmen sind bei diesen Schäden nur dann erforderlich, wenn ein Deckblechriss vorliegt. Somit gilt es als erste Maßnahme nach Auffinden eines Risses zu überprüfen, ob Beschädigungen des Belags auf der Oberseite der Fahrbahnplatte vorhanden sind, die auf einen Deckblechriss hindeuten können. Liegen Belagsschäden vor, ist festzustellen, ob ein Deckblechriss vorhanden ist.

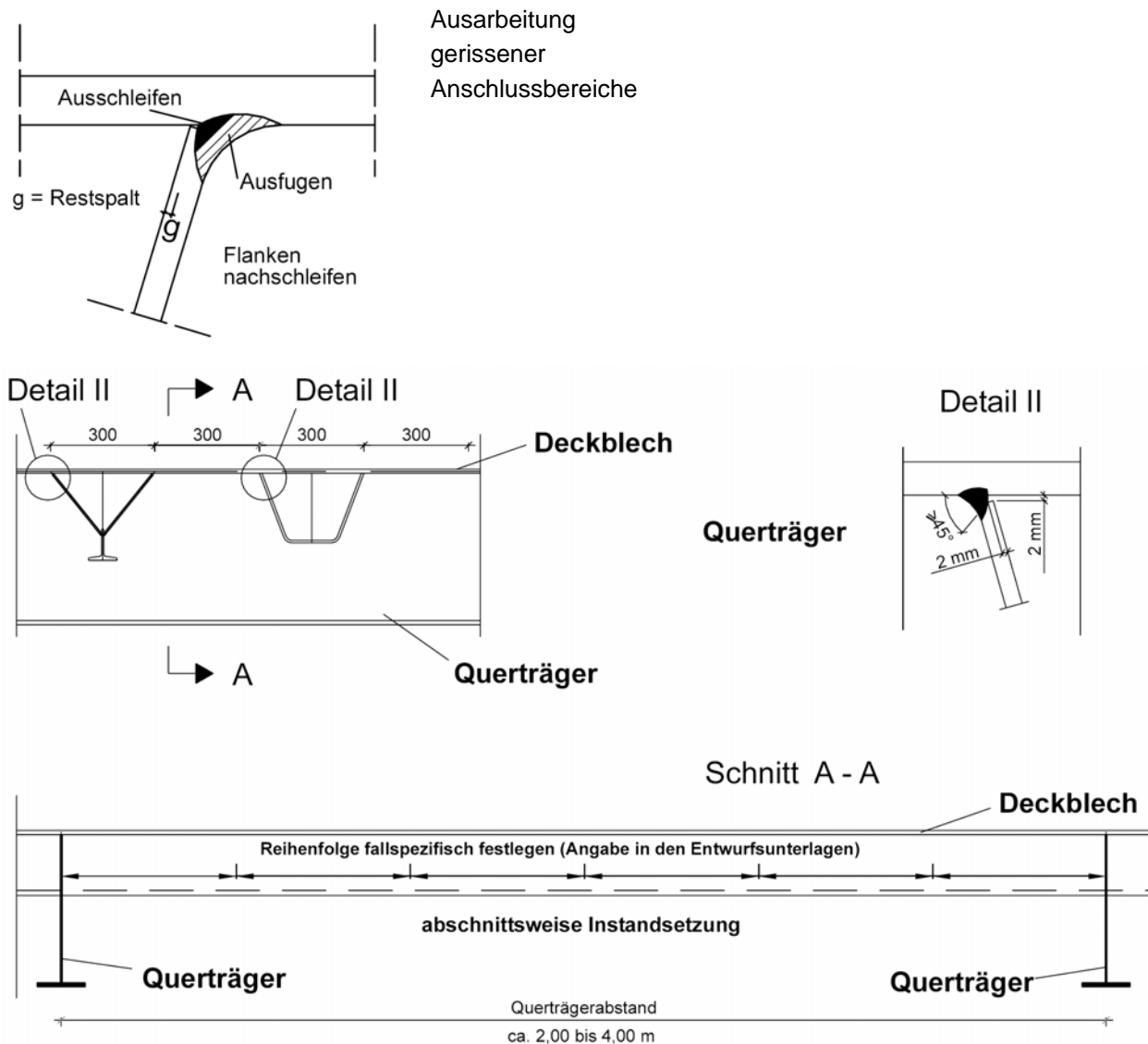


**Bild 4:** Risserscheinungen im Schweißnahtanschluss Deckblech-Längsrippe nach DVS-Merkblatt 1709 [3]

Prinzipiell ist zwischen ausführungsbedingten und kraftinduzierten Schäden und hierbei jeweils zwischen Längs- und Querrissen zu unterscheiden, die entweder „nur“ durch Sanierung der Schweißnähte und/oder des geschädigten Grundwerkstoffs repariert werden können (ausführungsbedingte Längs- und Querrisse, LR-DB<sub>1</sub> bis LR-DB<sub>4</sub> nach Bild 4, sowie kraftinduzierte Querrisse, LR-DB<sub>2</sub> und LR-DB<sub>4</sub> nach Bild 4) oder im Fall von kraftinduzierten Längsrissen (LR-DB<sub>1</sub> und LR-DB<sub>3</sub> nach Bild 4) durch konstruktive Änderungen durch Nachberechnungen der Steifigkeitsverhältnisse und Neudimensionierung der Schweißnähte einschließlich evtl. ergänzende Werkstoffuntersuchungen aufwendiger saniert werden müssen.

Die Instandsetzung der gerissenen Anschlussbereiche sollte zunächst durch Ausarbeiten (Ausfügen plus Ausschleifen) der vorhandenen Naht in Abschnitten von maximal 500 mm Länge nach

Bild 5 mit anschließender Nahtvorbereitung erfolgen. Das Schweißen der HY-Naht mit einer Nahtdicke gemäß DIN-Fachbericht 103 [7] ist entsprechend den Anforderungen und Toleranzen nach DIN-Fachbericht 103 sowie in Mehrlagentechnik mit kaskadenförmigen Übergang auszuführen [6]. Ferner ist auf Schwitzwasserfreiheit als Mindestanforderung für den Schweißprozess zu achten. Ein eventuell erforderliches Vorwärmen ist in Abhängigkeit des Werkstoffs, der Blechdicken und des Schweißverfahrens festzulegen. Die Instandsetzungsarbeiten sind während und nach den Arbeiten mittels Sichtprüfung und Magnetpulverprüfung zu definierten Zeitpunkten zu kontrollieren.



**Bild 5:** Instandsetzung des Schweißnahtanschlusses zwischen Deckblech und Längssteife nach DVS-Merkblatt 1709 [3]

### **3 Effizienzsteigerung des Fahrbahnbelags**

#### **3.1 Allgemeines**

Schäden in den Anschlussnähten zwischen Längssteifen und Deckblech treten vornehmlich in den Rollspuren des Schwerlastverkehrs auf bedingt durch die erhöhte Ermüdungsbeanspruchung resultierend aus den örtlichen Radlasten und der Frequenz der Überfahrten. Gerade in den Sommermonaten ist die lastverteilende Wirkung des Asphaltbelags durch die mit zunehmender Temperatur reduzierte Steifigkeit des Belags erheblich reduziert. In der Konsequenz müssen Ertüchtigungsmaßnahmen des Fahrbahnbelags das Ziel haben, eine erhöhte mittragende Wirkung - auch in den Sommermonaten - zu gewährleisten, die zu einer Verringerung der Spannungen im Deckblech führen.

Die Entwicklung eines wirksamen Konzepts muss neben der Betrachtung der technischen Aspekte der Steifigkeitserhöhung und der damit verbundenen Spannungsminimierung im Deckblech auch die Berücksichtigung der technischen Realisierbarkeit unter Baustellenbedingungen sowie die Wirtschaftlichkeit der entwickelten Lösungen beinhalten.

In jüngster Vergangenheit wurden zahlreiche Konzepte zur Ertüchtigung von orthotropen Fahrbahnplatten entwickelt und untersucht. In Bild 6 sind die verschiedenen Konzepte getrennt nach:

- Verstärkung der Stahlstruktur,
- (Teil-)Substitution des Asphaltbelags und
- Modifikation des Asphaltbelags

in Anlehnung an [8] und [9] gegenübergestellt.

Bevor im Nachfolgenden auf die aktuellen Forschungsarbeiten an der Universität Duisburg-Essen zur Ertüchtigung des Fahrbahnbelags auf Stahlbrücken eingegangen wird, werden die bislang am meisten erfolgversprechenden Maßnahmen kurz vorgestellt:

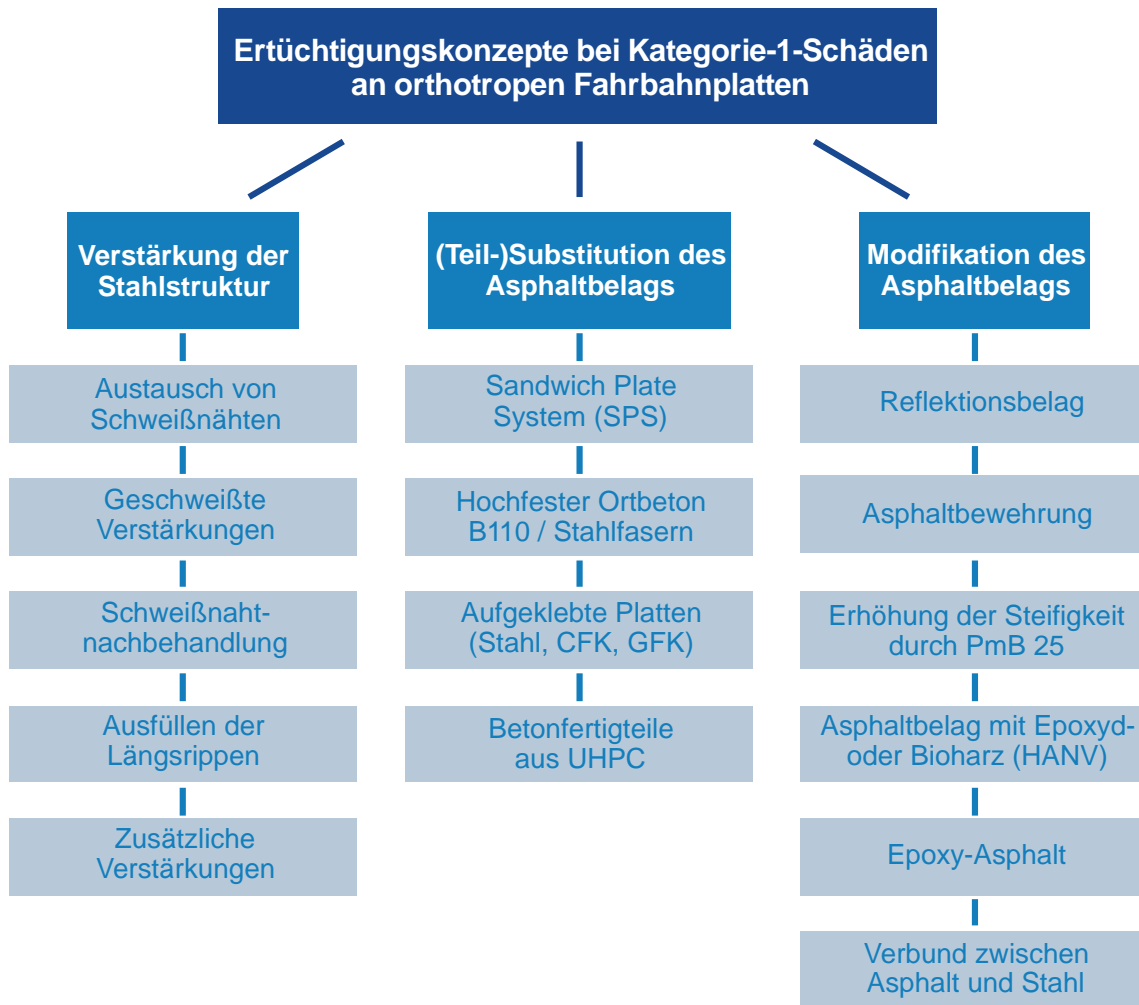
(1) bisher untersuchte Maßnahmen [4, 8, 10]:

- Sandwich Plate System (SPS),
- Hochfester Beton mit Stahlfasern als Ortbeton,
- Aufgeklebte Stahlbleche sowie
- Hohlraumreiches Asphalttraggerüst mit nachträglicher Verfüllung (HANV).

(2) aktuell untersuchte Maßnahmen [5]:

- Hohlraumreiches Asphalttraggerüst mit nachträglicher Verfüllung (HANV) aus Epoxidharz
- Hohlraumreiches Asphalttraggerüst mit nachträglicher Verfüllung (HANV) aus Bioharz

Beide Maßnahmen werden in unterschiedlichen Ausführungsvarianten bzgl. der Schichtdickenverhältnisse der Dichtungs-, Schutz- und Deckschicht untersucht.



**Bild 6:** Mögliche Ertüchtigungskonzepte für orthotrope Fahrbahnplatten in Anlehnung an [8] und [9]

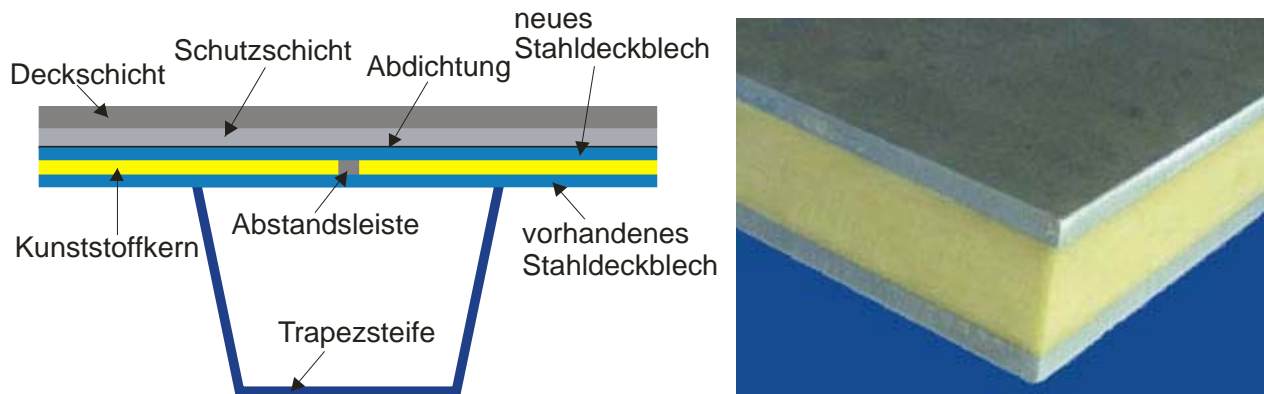
(3) weitere Maßnahmen [9]:

- Betonfertigteile aus ultrahochfestem Beton (UHPC).

### 3.2 (Teil-)Substitution des herkömmlichen Asphaltbelags

#### 3.2.1 Sandwich-Plate-System (SPS)

Das Sandwich-Plate-System (SPS) besteht aus zwei Stahlblechen welche durch einen Polyurethan-Elastomer-Kern kraftschlüssig miteinander verbunden werden, siehe auch Bild 7. Die Herstellung des SPS erfolgt in zwei Schritten: Zunächst werden Ober- und Unterblech mit Abstandshaltern und Randleisten montiert, so dass ein luftdichter Hohlraum entsteht. Anschließend wird das Polyurethan in den Hohlraum injiziert wodurch nach dem Erhärten eine zug- und schubfeste Verbundkonstruktion entsteht.



**Bild 7:** Aufbau des Sandwich-Plate-Systems nach [11], [13]

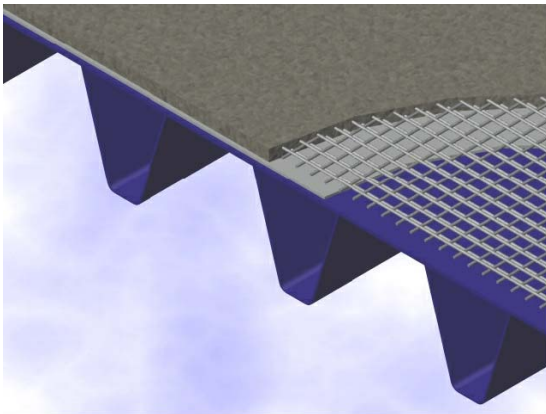
Ursprünglich wurde SPS für den Schiffsbau entwickelt, wo es zur Verstärkung von Fahrbahnkonstruktionen wie beispielsweise bei LKW-Decks von Fährschiffen diente. Durch den Erfolg im Schiffsbau wurde die SPS-Technik bis hin zum Einsatz bei einem Pilotprojekt bei der Schönwasserparkbrücke auf der BAB 57 bei Krefeld auch als Instandsetzungsmaßnahme für orthotrope Fahrbahnplatten auf Stahlbrücken weiterentwickelt. Umfangreiche Beschreibungen des Projekts sowie der durchgeführten Untersuchungen bis hin zum Einbau beim Pilotprojekt sind u. a. in [4] und [11] bis [16] gegeben. Nachfolgend werden nur die wichtigsten Ergebnisse des Projekts dargestellt.

Mit Hilfe der SPS-Technik lässt sich eine deutliche lokale Spannungsreduktion im Deckblech von bis zu 50 % erzielen. Daraus resultiert auch eine erhebliche Reduzierung der Spannungsschwingbreiten, wodurch die Wirksamkeit des SPS als Instandsetzungsmaßnahme von orthotropen Fahrbahnplatten eindeutig nachgewiesen ist. Die Praxistauglichkeit wurde im Rahmen der Untersuchungen zu dem Pilotprojekt ebenfalls nachgewiesen. Durch die Wahl eines „Standardasphaltbelags“ von mindestens 8 cm Dicke ist eine Belagserneuerung mit den üblichen Verfahren möglich. Untersuchungen an Fahrbahnelementen der D-Brücke sowie das Pilotprojekt der Schönwasserparkbrücke belegen die Beständigkeit des SPS gegen Heiasphalteinbau. Bei der Schönwasserparkbrücke haben sich bisher keine erkennbaren Mängel eingestellt. Somit kann vom derzeitigen Standpunkt von einer Dauerhaftigkeit der SPS-Maßnahme ausgegangen werden. Bei der Durchführung des Pilotprojekts zeigten sich jedoch auch deutliche Nachteile des SPS. Die Auflegetechnik des SPS ist witterungsabhängig und feuchteempfindlich, so dass eine Einhausung der Arbeitsstelle zwingend erforderlich wird. Durch den erhöhten Fahrbahnaufbau werden ergänzende bauliche Maßnahmen an den Fahrbahnübergängen sowie an den Schrammborden notwendig. Dadurch wird das SPS zu einer sehr kostenintensiven Instandsetzungsmaßnahme. Zusätzlich ist zu berücksichtigen, dass durch das SPS je nach Dicke des oberen Bleches ein Zusatzgewicht von etwa  $100 \text{ kg/m}^2$  auf die bestehende Brücke aufgebracht wird.



### 3.2.2 Hochfester Beton mit Stahlfaserverstärkung als Ortbeton

Der Einsatz von hochfestem Beton mit Stahlfasern wurde in den Niederlanden bis hin zur Praxisreife entwickelt, siehe u.a. [4] und [17] bis [21]. Bei dieser Methode wird der herkömmliche Asphaltbelag durch einen stahlfaserverstärkten, bewehrten Hochleistungsbeton ersetzt, der in Ortbetonbauweise hergestellt wird, siehe Bild 8. Das System der Fa. Contec besteht hierbei aus einer Hochleistungsbetonschicht B105 mit 50 mm bis 60 mm Dicke, in der drei Lagen geschweißte Betonstahlmatten  $d_s = 8$  mm mit Stababstand von 50 mm und  $70 \text{ kg/m}^3$  Stahlfasern eingelegt werden [4]. Die zentrisch angeordnete Bewehrung wird zur Abhebesicherung an den Stahlrändern der Fahrbahn angeschweißt.



**Bild 8:** Hochfester Beton mit Stahlfaserverstärkung als Ortbeton [17]

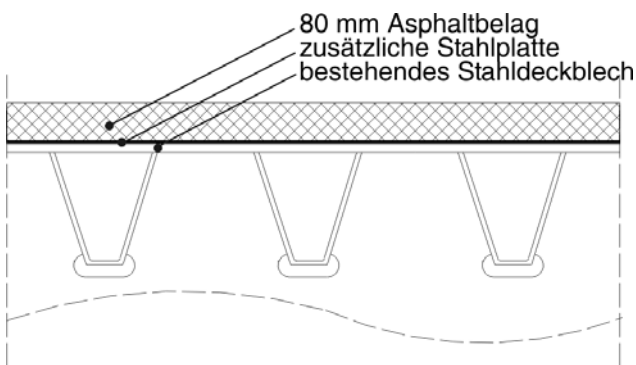
Um die Wirksamkeit dieser Methode zu gewährleisten, ist ein ausreichender Verbund zwischen Deckblech und Betonbelag sicherzustellen. Ein zweikomponentiges Epoxidharz mit eingestreutem Bauxit-Korn hat sich als beste Methode erwiesen, um eine kraftschlüssige Verbindung zwischen Deckblech und Belag herzustellen. Anfängliche Probleme bezüglich der Gradienten des Stahldeckblechs sowie der Ebenheit der Fahrbahn konnten im Rahmen von Weiterentwicklungen weitestgehend gelöst werden. Um Hohlräume infolge der Gradienten des Stahldeckblechs zu vermeiden, wurden Bewehrungsführung sowie die Lage und die Durchmesser der Bewehrung optimiert. Eine ausreichende und gleichmäßige Rauigkeit des Fahrbahnbelags wurde dadurch geschaffen, dass die Betonoberfläche aufgeraut und anschließend ein Dünnschichtbelag aufgebracht wurde. Die Verwendung von Betonfertigern sorgt für eine ebenere Fahrbahn gegenüber dem Betoneinbau mittels Abzugsbohle.

Die Reduzierung der Spannungen und Dehnungen im Deckblech durch die Verwendung des hochfesten Betons mit Stahlfaserverstärkung konnte sowohl im Labor als auch bei den durchgeführten Pilotprojekten eindeutig nachgewiesen werden. Allerdings birgt auch diese Instandsetzungsmaßnahme einige Probleme. Der Einbau des hochfesten Betons erfordert eine sehr hohe Ausführungsqualität. Wie beim SPS muss auch für eine Instandsetzung mit hochfestem Beton der gesamte Arbeitsbereich eingehaust werden. Das Aufbringen des zusätzlichen Dünnschichtbelags geht mit einer zusätzlichen Erhöhung des Gesamtgewichts einher und steigert die Kosten dieser

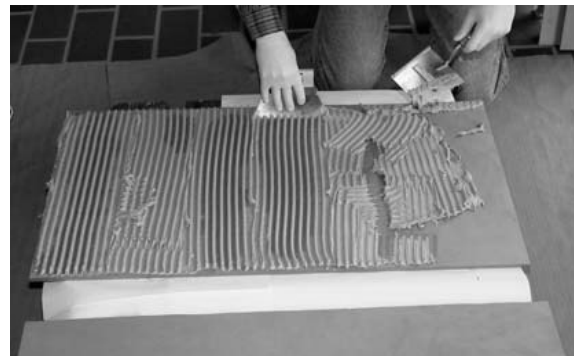
Instandsetzungsmaßnahme um das Doppelte. Inwieweit der aufgebraute Dünnschichtbelag dauerhaft ist bzw. in welchen Intervallen dieser erneuert werden muss, was mit zusätzlichen Kosten einher ginge, ist noch zu untersuchen.

### 3.2.3 Aufkleben von Stahlblechen

Vielversprechend ist auch die Methode des Aufklebens von Stahlblechen im Fliesenlegerverfahren zur Erhöhung der Steifigkeit des Deckblechs. Bei dieser Methode wird mittels 2-Komponenten-Epoxidharz-Klebstoff auf das bereits vorhandene Deckblech ein weiteres Stahlblech aufgeklebt, siehe Bild 9.



(a) Schematischer Aufbau



(b) Aufbringen des Klebstoffs im Labor

**Bild 9:** Aufkleben von Stahlblechen [24]

In mehreren von der BAST durchgeführten Forschungsarbeiten [23] konnte numerisch nachgewiesen werden, dass eine Erhöhung der Deckblechdicke erwartungsgemäß auch eine Reduzierung der Spannungen an der Unterkante des Deckblechs zur Folge hat. Bei Untersuchungen zur Optimierung der Klebetechnologie [24] konnten geeignete Klebstoffe und Verfahren zum Einbringen des Klebstoffes entwickelt werden, so dass die Wirksamkeit dieser Methode in statischen Versuchen nachgewiesen werden konnte. Zur Bewertung dieser Methode hinsichtlich der Ermüdungsbeanspruchbarkeit laufen derzeit Dauerschwell-Biegeversuche bei der BAST.

Da das Aufkleben von Stahlblechen noch nicht bis zur Praxisreife entwickelt ist, lässt sich hier noch keine Aussage über die Praxistauglichkeit treffen. Der Klebevorgang ist in jedem Fall witterungsabhängig, so dass davon auszugehen ist, dass auch bei dieser Instandsetzungsmaßnahme eine Einhausung der Baustelle notwendig wird. Gegenüber den oben beschriebenen Instandsetzungsmaßnahmen bietet das Aufkleben von Stahlblechen den Vorteil, dass durch den geringen Dickenverlust von nur ca. 8 mm der Belagsaufbau nicht geändert werden muss. Die Problematik der erhöhten Gradienten bleibt aber auch bei dieser Instandsetzungsmaßnahme bestehen, so dass gegebenenfalls Anpassungsarbeiten erforderlich werden.

In Bezug auf die Praxistauglichkeit der Instandsetzungsmaßnahme Aufkleben von Stahlblechen besteht allerdings noch weiterer Forschungsbedarf, dem u. a. in dem aktuell laufenden Forschungsvorhaben an der Universität Duisburg-Essen nachgegangen wird.

### 3.2.4 Betonfertigteile aus UHPC

Die Wirksamkeit von UHPC (Ultra High Performance Concrete) als Ortbetoninstandsetzungsmaßnahme für orthotrope Fahrbahnplatten wurde wie bereits erläutert bei Pilotprojekten in den Niederlanden nachgewiesen, siehe Abschnitt 3.2.2. Als eines der größten Probleme beim Einsatz von UHPC hat sich dabei die Verarbeitbarkeit des UHPC vor Ort herausgestellt.

Die Stahlbaufirma R. Lange GmbH, Moers, hat diese Thematik aufgegriffen und den Lehrstuhl für Stahlbau der TU Dortmund mit ersten Untersuchungen zum Einsatz von UHPC-Betonfertigteileplatten als Instandsetzungsmaßnahme beauftragt [9].

Durch die Verwendung von Fertigteilplatten aus UHPC wird die Problematik der Vorortverarbeitung umgangen. Bei der Herstellung der Fertigteilplatten im Werk lässt sich eine optimale Qualität erzielen. Die Fertigteilplatten werden nach der Herstellung im Werk auf die Baustelle geliefert und dort auf das vorhandene Stahldeckblech geklebt. In erster Linie dient die Fertigteilplatte der Gewährleistung einer ausreichenden Lastverteilung auch und vor allem in den Sommermonaten. Damit sich der Fahrbahnaufbau infolge der Instandsetzungsmaßnahme nicht erhöht, wird die Fertigteilplatte nach dem Prinzip der R. Lange GmbH so dünn wie möglich ausgeführt, ca. 30 mm, so dass auf ihr eine normale Gussasphaltschicht aufgebracht werden kann. Eine direkte Befahrbarkeit der UHPC-Fertigteilplatte ist damit explizit nicht vorgesehen.

Im Rahmen der durchgeführten Untersuchungen an der TU Dortmund [9] wurde das Tragverhalten von orthotropen Platten, die mit Betonfertigteilen verstärkt wurden, anhand von Biegeversuchen untersucht, siehe Bild 10. Hierfür wurden Teile einer orthotropen Platte (S235), bestehend aus Deckblech, Trapezhohlsteifen und Querträgern mit den Deckblechabmessungen 2500 mm x 1250 mm x 12 mm gefertigt. Abstand und Breite der Trapezhohlsteifen betragen jeweils 300 mm. Die Querträger wiesen eine Höhe von 850 mm auf. Folgende Varianten des Systemaufbaus wurden untersucht:

- rohe Stahlplatte,
- UHPC-Platte  $h_c = 30$  mm, lose aufgelegt,
- UHPC-Platte  $h_c = 30$  mm, verklebt,
- UHPC-Platte  $h_c = 60$  mm, lose aufgelegt,
- UHPC-Platte  $h_c = 60$  mm, verklebt,
- Asphaltdeckschicht,  $h = 75$  mm.



**Bild 10:** Versuchsaufbau – Fertigteile aus UHPC – Untersuchungen an der TU Dortmund [9]

Die Versuche an den rohen Stahlplatten dienten dazu, Referenzwerte für die übrigen Versuche zu erhalten. Die Versuche mit lose aufgelegter Betonplatte sollten den Verlust der Verbundwirkung simulieren. Die Versuche mit der Asphaltdeckschicht dienten dem Vergleich und der Bewertung der Instandsetzungsmaßnahme durch Betonfertigteile aus UHPC.

Die genaue Zusammensetzung des eingesetzten UHPC ist nicht bekannt. Eine rein qualitative Bewertung des Systems kann dennoch vorgenommen werden. Zur Herstellung der Prüfkörper mit aufgeklebten UHPC-Fertigteilen wurde zunächst die Stahloberfläche mit Stahlkies G25/G40 abgestrahlt, um die notwendige Rauigkeit der Oberfläche von 80  $\mu\text{m}$  herzustellen. Im nächsten Schritt wurde die Stahloberfläche mit Sika-COR-Zink-R grundiert. Als Klebstoff wurde Sikadur 30 DUE-normal eingesetzt. Dieser Klebstoff ist ein lösemittelfreier, thixotroper 2-Komponenten-Epoxidharzmörtel, der beispielsweise auch bei der Verklebung von CFK-Lamellen zum Einsatz kommt. Die Klebschichtdicke wurde auf 3 mm festgelegt, welche mit einem 6 mm Zahnspachtel hergestellt wurde. Abschließend wurden die Betonfertigteile auf die Klebschicht aufgelegt und mit der Stahlplatte verklebt.

Die Prüfkörper wurden über eine Stahlplatte mit den Abmessungen 400 mm x 400 mm x 40 mm mit untergelegter Holzplatte mit einer Einzellast von 120 kN gemäß DIN Fachbericht 101 [25] belastet. Insgesamt wurden die Prüfkörper an 15 verschiedenen Positionen in Längs- und Querrichtung belastet. Die infolge der Belastung entstehenden Verformungen wurden mittels Wegaufnehmern und Dehnungsmessstreifen (DMS), die ebenfalls ins Längs- und Querrichtung an signifikanten Punkten angebracht wurden, gemessen.

Aufgrund der geringen Abmessungen der orthotropen Fahrbahnplatte (2500 mm x 1250 mm) hat sich das System der Prüfkörper als äußerst steif erwiesen, weshalb die gemessenen Verformun-

gen teilweise im Bereich der Messtoleranzen lagen. Dennoch sind erste Tendenzen zu erkennen. Die Versuchsergebnisse zeigen eine deutliche Reduzierung der lokalen Spannungsspitzen infolge der Lasteinleitung. Durch einen Vergleich der vertikalen Verformungen unter den Rippen wurde die prozentuale Querverteilung der Lasten bestimmt. Durch das Aufkleben der UHPC-Platten konnte eine erhebliche Steigerung der Querverteilung erzielt werden. Mit Hilfe von entlang der Längsrippen angebrachten DMS wurden aus den gemessenen Verformungen ermüdungsrelevante Spannungsschwingbreiten berechnet. Die Ergebnisse zeigen, dass eine 30 mm dicke Betonplatte aus UHPC eine Reduzierung der Spannungsschwingbreite um 50,7 % bewirkt. Eine 60 mm dicke Betonplatte bewirkt eine Reduzierung der Spannungsschwingbreite um 63,8 %. Daraus resultiert eine deutliche Steigerung der Ermüdungsfestigkeit.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass das Aufkleben von Betonfertigteilen aus UHPC eine erfolgversprechende Instandsetzungsmaßnahme sein kann. Da es sich bei den hier vorgestellten Versuchen um erste Versuche handelt, lässt sich diese Instandsetzungsmaßnahme derzeit nicht abschließend bewerten. Um aussagekräftigere Ergebnisse zu erhalten, sind weitergehende Untersuchungen notwendig, die derzeit an der Universität Duisburg-Essen in Kooperation mit der TU Dortmund in Planung sind.

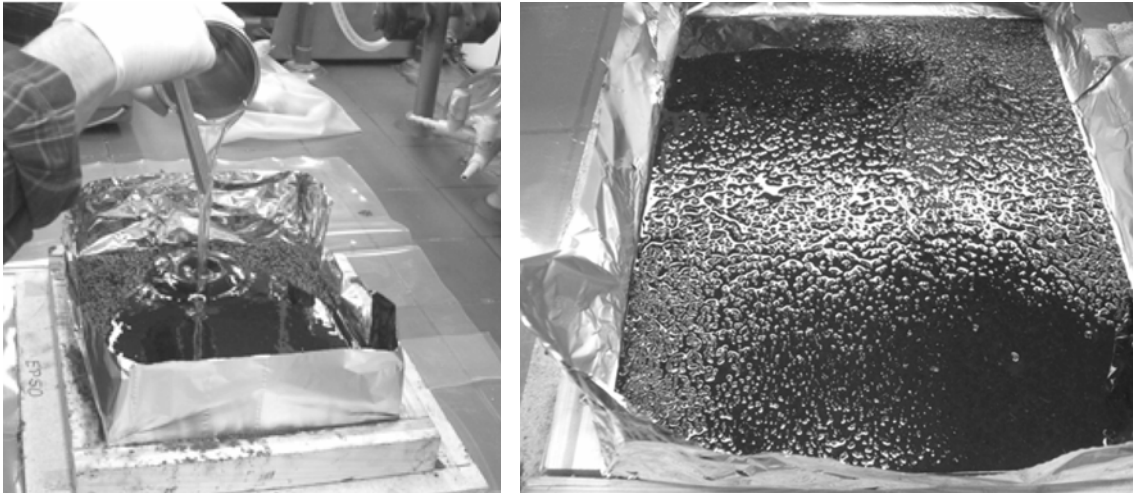
### **3.3 Modifikation des herkömmlichen Asphaltbelags**

#### **3.3.1 Hohlraumreiches Asphaltgerüst mit nachträglicher Verfüllung (HANV)**

Die Erhöhung der Belagssteifigkeit durch Aufbringen eines hohlraumreichen Asphalttraggerüstes mit nachträglicher Verfüllung (HANV) stellt eine vielversprechende Maßnahme dar, die schwerpunktmäßig im aktuell laufenden Forschungsvorhaben an der Universität Duisburg-Essen [5] untersucht wird.

HANV wurde ursprünglich als Sonderbelag für Bushaltestellen auf Brücken eingesetzt, da er gegenüber einem konventionellen Asphalt eine deutlich höhere Standfestigkeit aufweist. Der Aufbau der o. g. Befestigung bestand aus einer konventionellen Abdichtung und einer Schutz- und Deckschicht aus hohlraumreichem Asphalt, dessen Hohlräume mit einem Reaktionsharz verfüllt wurden [26].

HANV besteht aus einem hohlraumreichen Asphalttraggerüst mit einem Hohlraumgehalt von 20 - 25 Vol. %, welches nachträglich verfüllt wird, siehe auch Bild 11. Die Mindestschichtdicke liegt in Abhängigkeit des Größtkorns zwischen 20 mm und 30 mm. Der Einbau des Asphalttraggerüstes erfolgt mit einem herkömmlichen Straßenfertiger. Das Asphalttraggerüst kann mit zwei unterschiedlichen Harzen verfüllt werden, zum Einen mit flexibilisiertem Epoxidharz und zum Anderen mit Bioharz.



**Bild 11:** Verfüllen eines hohlraumreichen Asphaltträgergerüsts mit Epoxidharz im Labor [4]

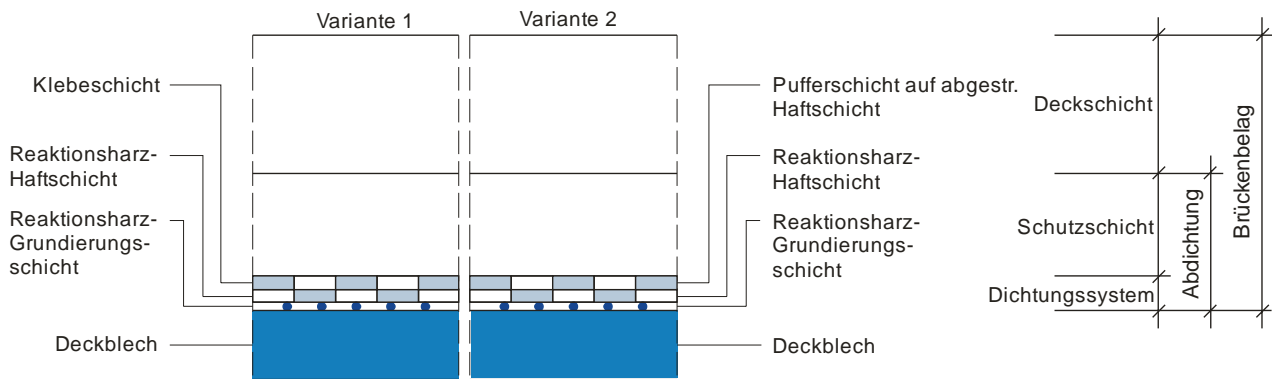
Das Verfüllen mit den o. g. Harzen kann direkt hinter dem Straßenfertiger (heißes Asphaltträgergerüst) erfolgen, da ein zusätzliches Verdichten des Asphaltträgergerüsts nicht notwendig ist. Das flexibilisierte Epoxidharz bzw. Bioharz wird mit Gummischiebern auf der Oberfläche eingearbeitet und anschließend scharf abgezogen.

Der Einsatz des HANV als Dichtungs- und Schutzschicht für Fahrbahnbeläge auf Betonbrücken, in Tunneln und Trogbauwerken wurde bereits in [26] untersucht. Dabei wurden verschiedene Verfüllmaterialien (Epoxidharz nach TL-BEL-EP, Feinstzement Injektionssuspension in Anlehnung an die ZTV Riss, flexibilisiertes Epoxidharz, modifiziertes Bitumen, Straßenbaubitumen 50/70) zur Verfüllung des hohlraumreichen Asphaltträgergerüsts eingesetzt. Die Verfüllung mit einem flexibilisierten Epoxidharz erwies sich als geeignetste Lösung, da die Hohlräume des Asphaltträgergerüsts vollständig ausgefüllt wurden. Die Wasserdichtigkeit konnte nach DIN 12390 [27] nachgewiesen werden. Die Abreißfestigkeit des HANV liegt über der des Betons und nimmt mit zunehmender Feuchtigkeit der Betonunterlage ab. Stehendes Wasser in den Betonporen beeinträchtigt den Verbund negativ [26].

Im Rahmen des Forschungsvorhabens „Instandsetzung und Verstärkung von Stahlbrücken unter Berücksichtigung des Belagssystems“ [4] wurde überprüft, ob HANV auf Stahlbrücken mit orthotropen Fahrbahnplatten in der Schutz- und/oder Deckschicht eingesetzt werden kann. Die Untersuchungen zeigten, dass HANV Vorteile gegenüber dem Referenzsystem (Gussasphalt) aufweist. Eine Bewertung der Effizienzsteigerung konnte allerdings nicht erfolgen, da die Versuchsergebnisse keine eindeutige Bewertung zuließen. Aufbauend auf diesen Erfahrungen soll im Rahmen des aktuellen Forschungsvorhabens an der Universität Duisburg-Essen der Versuchsaufbau und -ablauf weiter optimiert werden, so dass eine eindeutige Bewertung vorgenommen werden kann.

HANV ist gegenüber Verformungen relativ unempfindlich. Durch die Verwendung geeigneter flexibilisierter Epoxidharze kann die aufnehmbare Bruchlast und die entsprechende Bruchdehnung

weiter optimiert werden. Der Einsatz von HANV ist in der Dichtungs-, Schutz- und Deckschicht möglich. Auf die bei der Bauart 1 nach ZTV-ING, Teil 7, Abschnitt 4 [28] in der Dichtungsschicht erforderliche Pufferschicht, siehe Bild 12, kann gegebenenfalls verzichtet werden. Hierzu sind zuvor weitere Untersuchungen bezüglich des Schichtenverbundes, der Wasserdichtigkeit und der Verschieblichkeit zwischen den Schichten durchzuführen [4].



**Bild 12:** Referenzsystem nach ZTV-ING, Teil 7, Abschnitt 4, Bauart 1

HANV wurde bisher auf Betonbrücken in Berlin, Brandenburg und Düsseldorf als kombinierte Dichtungs- und Schutzschicht eingebaut. Es liegen keine Erfahrungen beim Einsatz von HANV als Dichtungs-, Schutz- oder Deckschicht auf Stahlbrücken vor. Die Verwendung von HANV auf einer Stahlbrücke in der Dichtungs- und Schutzschicht ist für den Einbau in Probefeldern auf der BAB A6, Neckartalübergang Heilbronn geplant.

Wie bereits erwähnt, kann HANV mit flexibilisiertem Epoxidharz oder mit Bioharz verfüllt werden. Beide Varianten werden im Folgenden beschrieben.

- *Flexibilisiertes Epoxidharz*

Epoxidharz ist ein 2- Komponentensystem, bestehend aus Grundharzen und Härtern. Sie gehören zur Stoffgruppe der Reaktionsharze. Die Prüfung der Reaktionsharze ist nach DIN 16945 [29] geregelt. Die Zugabe des Härters löst eine Polymerisation der Grundharze aus. Es entsteht ein duroplastischer Kunststoff von hoher Festigkeit und chemischer Beständigkeit. Die Verarbeitungszeit von Reaktionsharzen hängt von der Verarbeitungstemperatur, der Zusammensetzung des Harzes und dem Verarbeitungsverfahren ab. Sie liegt zwischen einigen Minuten bis zu mehreren Tagen.

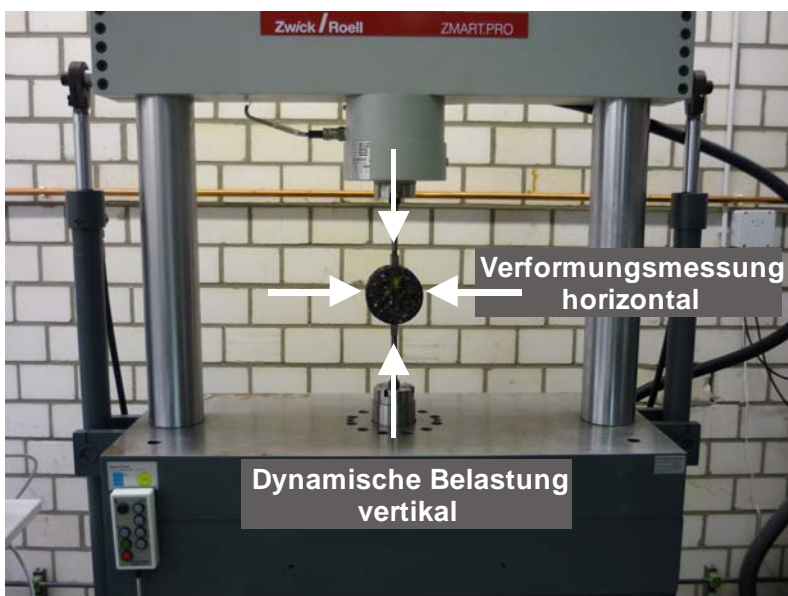
- *Bioharz*

Bioharze können aus Raps, Zucker, Rizinus, Caprolactone etc. hergestellt werden. Bioharze sind im Vergleich zu flexibilisierten Epoxidharzen deutlich flexibler und weniger gesundheitsgefährdend. Die möglichen Bewegungen einer Stahlbrücke können in zu steifen Fahrbahnbelägen zu Rissen führen. Die höhere Flexibilität von Bioharzen gegenüber flexibilisierten Epoxidharzen kann das Risiko einer Rissbildung minimieren.

Im Rahmen der aktuellen Forschungsaktivitäten an der Universität Duisburg-Essen erfolgt der Nachweis der mittragenden Wirkung des HANV-Asphaltbelags sowohl numerisch als auch experimentell für die nachfolgenden Belagsvarianten:

- (a) Referenzsystem nach ZTV-ING, Teil 7, Abschnitt 4 und einer Abdichtung nach Bauart 1,
- (b) HANV mit Epoxydharz-Verfüllung,
- (c) HANV mit Bioharz-Verfüllung,
- (d) Aufkleben von Stahlblechen im Fliesenlegerverfahren,
- (e) Kombination des Lösungsansatzes (d) mit dem am meisten erfolgversprechenden Lösungsansatzes der Möglichkeiten (a) bis (c) [max. {(a),(b),(c)} + (d)].

Der Nachweis der mittragenden Wirkung gliedert sich in mehrere Arbeitsschritte. Zunächst werden Spaltzug-Schwellversuche [30] durchgeführt, um die E-Moduln der unterschiedlichen Fahrbahnbelagsvarianten zu bestimmen. Die E-Moduln dienen als Eingangsgrößen für Berechnungen nach der Mehrschichtentheorie. Mit der Mehrschichtentheorie lassen sich Spannungen, Dehnungen und Durchbiegungen an unterschiedlichen Positionen auf dem Fahrbahnbelag und innerhalb des Fahrbahnbelags für unterschiedliche Fahrbahnbelagsvarianten berechnen. Somit lässt sich durch die Berechnung nach der Mehrschichtentheorie der Aufbau des Fahrbahnbelags optimieren. Der optimierte Aufbau des Fahrbahnbelags bildet die Grundlage für geplante Fünf-Punkt-Biege- und Dauerschwell-Biegeversuche. Anhand der Ergebnisse aus der Berechnung nach der Mehrschichtentheorie und den Versuchsergebnissen der Fünf-Punkt-Biegeversuche lässt sich ein FE-Modell kalibrieren, mit dem weitere Parameterstudien durchgeführt werden.



**Bild 13:** Versuchsaufbau für Spaltzug-Schwellversuche im Labor des Instituts für Metall- und Leichtbau der Universität Duisburg-Essen

Beim Spaltzug-Schwellversuch, siehe Bild 13, wird ein zylindrischer Probekörper parallel zu seiner Achse linienförmig über die Mantelfläche mit einem Druckimpuls beaufschlagt. Dabei wird die seit-



liche Verformung gemessen. Aus der aufgebrachten Last und der aufgezeichneten Verformung lässt sich anschließend der E-Modul in Abhängigkeit von der Temperatur und der Belastungsfrequenz ermitteln. Die Versuche werden an der am Institut für Metall- und Leichtbau vorhandenen servohydraulischen Hydropuls Prüfmaschine der Firma Schenck/Zwick/Roell durchgeführt.

Da derzeit keine Erfahrungen mit der Durchführung von Spaltzug-Schwellversuchen an Gussasphalten vorliegen, werden die Spaltzug-Schwellversuche zunächst an einem konventionellem Splittmastixasphalt durchgeführt. Hierzu gibt es ausreichende Erfahrungen hinsichtlich der Versuchsdurchführung und der Bewertung der Versuchsergebnisse, so dass die Prüfmaschine und der Versuchsaufbau kalibriert werden können. Nach dieser Kalibrierung werden die Spaltzug-Schwellversuche an einem herkömmlichen Gussasphalt durchgeführt, wie er derzeit standardmäßig auf Stahlbrücken eingesetzt wird. Die Ergebnisse dieser Spaltzug-Schwellversuche dienen als Referenz zur Bewertung der Ergebnisse der Spaltzug-Schwellversuche mit HANV-Varianten.

In Rahmen der Mehrschichtenrechnungen werden die folgenden Belagsvarianten untersucht, die als Basis für die Bauteilversuche dienen:

- Dichtungssystem aus HANV (DH),
- Dichtungssystem der Bauart 1 nach [28] (DB1),
- Aufbau ohne Dichtungssystem (oD),
- Schutzschicht aus HANV mit Epoxidharz (SE) und Bioharz (SB) mit Gussasphaltdeckschicht,
- kombinierte Schutz- und Deckschicht aus HANV mit Epoxidharz (kSE) und Bioharz (kSB).

Aus der Kombination der verschiedenen Belagsvarianten resultieren 12 Grundvarianten, welche mit unterschiedlichen Schichtdicken untersucht werden. Ein spezielles Augenmerk wird hierbei auf die Ausbildung der Dichtungsschicht gelegt, da sie von entscheidender Bedeutung für die Dauerhaftigkeit einer Stahlbrücke ist. Sie schützt das Deckblech der Stahlbrücke vor eindringendem Oberflächenwasser, welches zu Korrosionsschäden führen kann. Zusätzlich hat sie die Aufgabe, einen ausreichenden Schichtenverbund zwischen dem Deckblech und der Schutzschicht sicherzustellen. Die Dicke der Dichtungsschicht beträgt im Regelfall zwischen 3 mm und 10 mm. Neben den in der ZTV-ING, Teil 7, Abschnitt 4 geregelten Abdichtungsarten werden im Rahmen des Forschungsvorhabens alternative Möglichkeiten zur Ausbildung der Dichtungsschicht untersucht.

Denkbar wäre der Einsatz einer bitumenhaltigen Zwischenschicht (Sami-Schicht) oder der Einsatz einer Asphaltarmierung aus Kohlefasergittern auf der konventionellen Dichtungsschicht. Beide Alternativen ermöglichen eine horizontale Verschieblichkeit zwischen Deckblech und Schutzschicht unter gleichzeitiger Sicherstellung eines ausreichenden Schichtenverbundes. Zusätzlich wird untersucht, ob HANV allein die abdichtende Wirkung der Dichtungsschicht gegen eindringendes Oberflächenwasser übernehmen kann.

Die Sami-Schicht wird zur Zeit überwiegend auf sehr rissigen Unterlagen aufgebracht, um die Reflexionsrissbildung im darüber aufgetragenen Asphalt zu vermeiden. Sie lässt unterschiedliche Verschiebungen zwischen zwei Schichten zu und hat eine abdichtende Wirkung. Die Sami-Schicht wird aus speziellen Bindemitteln (z. B. hochpolymermodifizierte Bitumen, polymermodifizierte Bitumenemulsionen) hergestellt.

Asphaltarmierungen mit Kohlefasergitter werden im Straßenbau zur Erhöhung der Dauerhaftigkeit verwendet. Die Asphaltarmierungen mit Kohlefasergitter können bei Erhaltungsmaßnahmen zwischen einer bestehenden gerissenen Unterlage und einer neuen Asphaltdeckschicht eingebaut werden. Das Einlegen der Asphaltarmierung mit Kohlefasergitter soll Reflexionsrisse, resultierend aus der bestehenden gerissenen Unterlage verhindern. Zur Verbesserung des Schichtenverbunds werden die Kohlefasergitter bei der Produktion in Polymerbitumen vorgetränkt. Anschließend werden die Kohlefasergitter auf der Oberseite mit Quarzsand abgestreut und die Unterseite mit einer Abbrennfolie versehen [31].

Der numerische Nachweis der mittragenden Wirkung der im aktuellen Forschungsvorhaben untersuchten Instandsetzungsmaßnahmen wird für die beiden folgenden Systeme über die Spannungsreduzierung an der Unterkante des Deckblechs geführt:

- (a) mittragende Wirkung des modifizierten Asphalts,
- (b) Verstärkung durch das Aufkleben von zusätzlichen Stahlblechen.

Die Wirksamkeit der Instandsetzungsmaßnahmen wird mit Hilfe von numerischen Finite-Elemente-Berechnungen simuliert. Hierzu werden zwei 3D-Finite-Elemente-Modelle einer orthotropen Fahrbahnplatte in Anlehnung an den Querschnitt der Brücke Duisburg-Neuenkamp [23] mit dem Finite-Elemente-Programm ANSYS aus Schalenelementen, Modell (1), und alternativ aus Volumenelementen, Modell (2), zur Abbildung des Deckblechs erzeugt. Modell (2) dient als Grundlage zur Simulation einer Klebschicht aus Kontaktelementen, auf die ein weiteres Stahlblech mittels Volumenelementen angeordnet werden kann.

Sowohl die experimentellen Fünf-Punkt-Biege- als auch Dauerschwellbiegeversuche sowie die auf den Mehrschichtenrechnungen aufbauenden Finite-Elemente-Berechnungen stehen noch aus und werden derzeit geplant und durchgeführt.

### 3.3.2 Epoxy-Asphalt

Eine weitere Möglichkeit die mittragende Wirkung des Fahrbahnbelags auf Stahlbrücken zu erhöhen, besteht neben dem Einsatz von HANV auch in der Verwendung von Epoxy Asphalt. Epoxy Asphalt besteht aus Epoxydharzen, welche als Bindemittelzusatz bzw. einer teilweisen Substitution der gesamten Bitumenmenge im Asphaltmischgut dienen. In den USA und in China wurde Epoxy Asphalt vereinzelt bereits als Fahrbahnbelag auf Stahlbrücken eingesetzt.

Der Epoxy Asphalt wurde bei der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) im Rahmen einer Dissertation, „Entwicklung von langlebigen Decksichten aus Asphalt unter Verwendung von Epoxydharz“ [32], untersucht. Gegenstand dieser Untersuchungen war die Fragestellung, ob ein solcher Epoxy Asphalt einen Beitrag zur Entwicklung einer hochstandfesten und langlebigen Asphaltdeckschicht leisten kann. Es wurde nachgewiesen, dass der Epoxy Asphalt eine höhere Verformungsbeständigkeit, ein höheres Haftverhalten und einen höheren Ermüdungswiderstand gegenüber einem Splittmastixasphalt (Referenzasphalt) aufweist. Der Widerstand gegen dauerhafte Belastungen bei tiefen Temperaturen entspricht dem des Referenzasphalts. Zusätzlich wurde die Microrauheit mit dem SRT-Pendel an Probekörpern überprüft. Der Epoxy Asphalt weist eine etwas geringere Microrauheit im Vergleich zum Referenzasphalt auf, d. h. dass auf Epoxy Asphaltdeckschichten eine ausreichende Griffigkeit nachträglich hergestellt werden muss.

Bei der BASt werden derzeit weiterführende Untersuchungen zur Optimierung des Epoxy Asphalts durchgeführt.

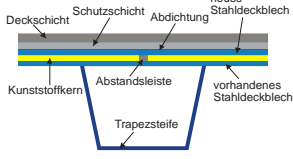
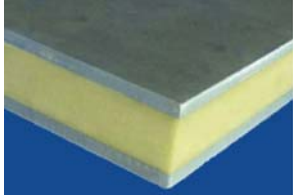

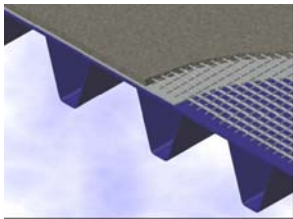
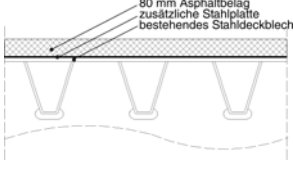
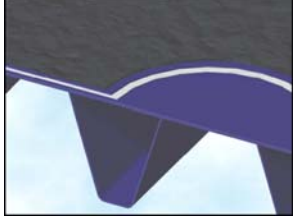


### **3.4 Bewertung der Systeme**

In Tabelle 1 sind die zuvor beschriebenen Maßnahmen mit Bezug zu den bereits vorliegenden Ergebnissen zusammengefasst und bewertet.

## **4 Zusammenfassung und Ausblick**

Die Reparatur von Rissen am Deckblech, den sogenannten Kategorie-1-Schäden in den Anschlussnähten zwischen Längssteifen und Deckblech, gliedert sich in die Sanierung der gerissenen Anschlussnähte und der Ertüchtigung der orthotropen Fahrbahnplatte mit dem Ziel der Spannungsbegrenzung und Verringerung der Durchbiegung als Ursachenbekämpfung. Regeln zur Instandsetzung der gerissenen Anschlussbereiche existieren bereits in dem DVS-Merkblatt 1709. Geeignete Ertüchtigungsmaßnahmen sind dagegen seit einigen Jahren Gegenstand von intensiven Forschungsaktivitäten, die diverse Methoden zur (Teil-) Substitution und Modifikation des herkömmlichen Asphaltbelags betreffen. Das an der Universität Duisburg-Essen durchgeführte Forschungsvorhaben verfolgt den Ansatz eines modifizierten Asphaltbelags bestehend aus einem hohlraumreichen Asphaltträgergestüt mit nachträglicher Verfüllung (HANV), das entweder mit einem flexibilisierten Epoxidharz oder Bioharz verfüllt wird. Als weiteres Verfahren werden weitergehende Untersuchungen zum Aufkleben von Stahlblechen im Fliesenlegerverfahren durchgeführt, das auch in Kombination mit HANV angewendet werden könnte. Wenig Erfahrungen existieren derzeit zur Anwendung von Betonfertigteilen aus UHPC, welches eine interessante Alternative darstellt und in zukünftigen Untersuchungen vertieft werden soll.

**Tabelle 1:** Bewertung von Instandsetzungsmaßnahmen

Instandsetzungsmaßnahme	Vorteile	Nachteile
<p><b>SPS</b></p>  	<ul style="list-style-type: none"> <li>- In Pilotprojekt bereits erprobt</li> <li>- Lokale Spannungsreduktion von bis zu 50%, daraus resultierend:</li> <li>- Verringerung der Spannungsschwingbreiten</li> <li>- Nach derzeitigem Stand kann die SPS-Technik als dauerhaft eingestuft werden</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Witterungsabhängigkeit, Einhausung der Baustelle erforderlich</li> <li>- Erhöhung des Fahrbahnaufbaus erfordert zusätzliche, bauliche Maßnahmen</li> <li>- Aufbringung von zusätzlichem Gewicht</li> </ul>
<p><b>Hochfester Beton mit Stahlfasern als Ort beton</b></p>  	<ul style="list-style-type: none"> <li>- In Pilotprojekten bereits erprobt</li> <li>- Deutliche Reduktion der Spannungsschwingbreiten</li> <li>- Maßnahme weitestgehend gewichtsneutral</li> <li>- Keine Erhöhung der Fahrbahnaufbaus</li> <li>- Nach derzeitigem Stand kann die Maßnahme als dauerhaft eingestuft werden</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hohe Ausführungsqualität erforderlich</li> <li>- UHPC ist in Ort betonbauweise sehr schwer verarbeitbar</li> <li>- Witterungsabhängigkeit, Einhausung der Baustelle erforderlich</li> <li>- Probleme mit der Fahrbahnebenheit</li> <li>- Problem mit der Fahrbahnrauigkeit</li> </ul>
<p><b>Aufkleben von Stahlblechen</b></p>  	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reduktion der lokalen Spannungsspitzen</li> <li>- Belagsaufbau muss durch geringen Dickenverlust nicht geändert werden</li> </ul> <p>Die Dauerhaftigkeit hängt im Wesentlichen mit der Applikation des Klebstoffes und den damit verbundenen Fehlstellen zusammen. Hierzu werden derzeit Untersuchungen bei der BAST durchgeführt. Am Institut für Metall- und Leichtbau der Universität Duisburg-Essen werden derzeit numerische Untersuchungen zum Aufkleben der Bleche im Fliesenlegerverfahren durchgeführt.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Witterungsabhängigkeit, Einhausung der Baustelle erforderlich</li> <li>- Probleme mit erhöhter Gradiente</li> </ul>
<p><b>HANV</b></p> 	<p>Die Erhöhung der Belagssteifigkeit durch Aufbringen eines hohlraumreichen Asphalttraggerüsts mit nachträglicher Verfüllung (HANV) stellt eine vielversprechende Maßnahme dar. Erste Untersuchungen wurden bereits an der RWTH Aachen durchgeführt. Weitergehende Untersuchungen werden derzeit an der Universität Duisburg-Essen durchgeführt.</p>	
<p><b>UHPC-Fertigteile</b></p> 	<p>Durch die Verwendung von Fertigteilplatten aus UHPC wird die Problematik der Vorortverarbeitung von UHPC umgangen. Hierzu wurden im Auftrag der R.Lange GmbH, Moers erste Untersuchungen durchgeführt. Das Aufkleben von Fertigteilen aus UHPC kann eine erfolgversprechende Instandsetzungsmaßnahme sein. Zur Beurteilung dieser Maßnahme sind weiterführende Untersuchungen erforderlich.</p>	

## Literatur

- [1] H. Friedrich, Ertüchtigung im Stahlbrückenbau, Expertengespräch Stahlbrückenbau, Bundesanstalt für Straßenwesen BASt, Bergisch Gladbach, 27.09.2011
- [2] E. Fiedler, Die Entwicklung der orthotropen Fahrbahnplatte in Deutschland, Stahlbau 78 (2009), Heft 8, S. 562-576
- [3] DVS Merkblatt DVS 1709:2008-05, Instandsetzung und Verstärkung orthotroper Fahrbahnplatten, DVS, Ausschuss für Technik, Arbeitsgruppe "Schweißen im Bauwesen", DVS-Verlag GmbH, Düsseldorf
- [4] G. Sedlacek, M. Paschen, M. Feldmann, A. Geßler, B. Steinauer, K. Scharnigg, Nachhaltige Instandsetzung und Verstärkung von orthotropen Fahrbahnplatten von Stahlbrücken unter Berücksichtigung des Belagssystems, BASt Schriftenreihe B, Verkehrsblatt Verlag, 2010
- [5] N. Stranghöner, Ch. Lorenz, E. Straube, M. Knauff, Effizienzsteigerung des Fahrbahnbelags auf Stahlbrücken mit Schäden in Form von Rissen im Bereich von Anschlüssen am Deckblech (Kategorie-1-Schäden), 1. Zwischenbericht, August 2011, FE 15.0473/2009/CRB, Bundesanstalt für Straßenwesen BASt
- [6] RI-ERH-ING - Richtlinien für die Erhaltung von Ingenieurbauten, Leitfaden Objektbezogene Schadensanalyse OSA, Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Bundesanstalt für Straßenwesen BASt, Bergisch Gladbach
- [7] DIN-Fachbericht 103:2009-03, Stahlbrücken, Beuth Verlag GmbH, Berlin
- [8] G. Sedlacek, M. Paschen, Untersuchung zur nachhaltigen Instandsetzung von orthotropen Fahrbahnplatten, Expertengespräch Instandsetzung orthotroper Fahrbahnplatten, Bundesanstalt für Straßenwesen BASt, Bergisch Gladbach, 19.10.2005
- [9] D. Ungermann, Sanierung orthotroper Fahrbahnplatten durch Aufkleben von Fertigteilen aus ultrahochfestem Beton, Abschlussbericht, 17.05.2010 im Auftrag der R. Lange GmbH, Moers
- [10] G. Sedlacek, M. Paschen, Neue Wege bei der Verstärkung orthotroper Platten, Expertengespräch Neue Entwicklungen im Stahlbrückenbau, Bundesanstalt für Straßenwesen BASt, Bergisch Gladbach, 22.10.2008
- [11] M. Hamme, J. Naumann, W. Prehn, Pilotprojekt zur Instandsetzung orthotroper Fahrbahnplatten, Stahlbau 76 (2007), Heft 7, S. 432-437

- [12] J. Minten, G. Sedlacek, M. Paschen, M. Feldmann, A. Geßler, SPS - ein neues Verfahren zur Instandsetzung und Ertüchtigung von stählernen orthotropen Fahrbahnplatten, Stahlbau 76 (2007), Heft 7, S. 438-454
- [13] St. Kennedy, Das Sandwich-Platten-System (SPS), Stahlbau 76 (2007), Heft 7, S., 455-464
- [14] J. Matuschek, Th. Stihl, St. Bild, Verstärkung der orthotropen Stahlfahrbahn der Schönwasserbrücke mittels Stahl-Elastomer-Sandwich (SPS), Stahlbau 76 (2007), Heft 7, S., 465-471
- [15] H. Friedrich, Schönwasserbrücke: Untersuchungen zur thermischen Beanspruchung von SPS beim Einbau bituminöser Fahrbahnbeläge, Stahlbau 76 (2007), Heft 7, S., 472-437
- [16] I. Farmer, Sandwich plate system for new build and repair, The Structural Engineer, 7 March 2006
- [17] F. B. P. De Jong, Renovation techniques for fatigue cracked orthotropic steel bridge decks, TU Delft, Dissertation, 2007
- [18] M. D. Denkinger, P. Buitelaar, Ertüchtigung orthotroper Fahrbahnplatten von Stahlbrücken, Stahlbau 75 (2006), Heft 7, S. 2-4
- [19] J. S. Leendertz, Erfahrungen aus den Niederlanden – Aspekte zur Ermüdung von orthotropen Fahrbahnplatten in den Niederlanden, Expertengespräch Instandsetzung orthotroper Fahrbahnplatten, Bundesanstalt für Straßenwesen BASt, Bergisch Gladbach, 19.10.2005
- [20] J. S. Leendertz, F. B. P. de Jong, Schadens-, Reparatur- und Ertüchtigungsmaßnahmen an Stahlbrücken mit orthotropen Fahrbahnplatten in den Niederlanden, Stahlbau 76 (2007), Heft 7, S., 503-508
- [21] J. S. Leendertz, C. den Besten, F. van Dooren, H. Sliedrecht, J. de Vries, Erfahrungen aus den Niederlanden, Expertengespräch Neue Entwicklungen im Stahlbrückenbau, BASt Bundesanstalt für Straßenwesen BASt, Bergisch Gladbach, 22.10.2008
- [22] H. Friedrich, B. Quaas, Zukunftsfähigkeit des Bestands, Zukünftiger Bedarf an Instandsetzungs- und Verstärkungsmaßnahmen bei orthotropen Fahrbahnplatten von Stahlbrücken, Bundesanstalt für Straßenwesen BASt, Bergisch Gladbach, Juli 2010
- [23] N. Peters, H. Friedrich, Verstärkung des Deckblechs orthotroper Fahrbahnplatten durch Aufkleben von Stahlblechen - Computersimulation - Schlussbericht, Bundesanstalt für Straßenwesen BASt, Bergisch Gladbach, September 2004
- [24] H. Friedrich, M. Eilers, B. Quaas, M. Staeck, Verstärkung des Deckblechs orthotroper Fahrbahnplatten durch Aufkleben von Stahlblechen - Optimierung der Klebetechnologie -,

Schlussbericht, Bundesanstalt für Straßenwesen BASt, Bergisch Gladbach, September 2005

- [25] DIN-Fachbericht 101:2009-03, Einwirkungen auf Brücken, Beuth Verlag GmbH, Berlin
- [26] B. Dudenhöfer, R. Schumann, Verfüllter offenporiger Asphalt: Zur Instandsetzung von Fahrbahnbelägen an Brücken-, Tunnel- und Trogbauwerken, Asphalt, 2003, Heft 4, S. 16-24
- [27] DIN EN 12390-8:2009-07, Prüfung von Festbeton –Teil 8: Wassereindringtiefe unter Druck; Deutsche Fassung EN 12390-8:2009
- [28] ZTV-ING, Teil 7, Abschnitt 4, Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten, Brückenbelag auf Stahl mit einem Dichtungssystem, FGSV-Verlag, 2010
- [29] DIN 16945:1989-03, Reaktionsharze, Reaktionsmittel und Reaktionsharzmassen
- [30] AL Sp-Asphalt 09, Arbeitsanleitung zur Bestimmung des Steifigkeits- und Ermüdungsverhaltens von Asphalten mit dem Spaltzug-Schwellversuch als Eingangsgröße in die Dimensionierung, FGSV Verlag, 2009
- [31] J. Scher, Verstärkungswirkung von Kohlefaserbewehrung in Asphaltstrassen, Strasse und Verkehr, 2004, Heft 1-2
- [32] S. Ludwig, Entwicklung von langlebigen Deckschichten aus Asphalt unter Verwendung von Epoxydharz, Dissertation, Universität Duisburg-Essen, Institut für Straßenbau und Verkehrswesen, Schriftenreihe Heft 1, Essen, 2009