

Instandsetzung durch Aufkleben von Stahlblechen

Dipl.-Ing. Heinz Friedrich,
Bundesanstalt für Straßenwesen

1. Einleitung

Die nach wie vor rasant fortschreitende Entwicklung im Transport- und Fahrzeugwesen führt bei Straßenbefestigungen und Bauwerken zu immer größeren Beanspruchungen. Nicht nur das Verkehrsaufkommen und der Schwerverkehrsanteil haben sich in den letzten Jahrzehnten dramatisch erhöht, auch die nach StVO zulässigen Gesamtgewichte und Achslasten sind deutlich gestiegen. Der aktuelle Schritt in der langen Reihe zunehmender Belastungen vollzieht sich derzeit mit dem Wechsel von Zwillingsbereifung zu einer Bereifung auch der Antriebsachsen mit Wide-Base-Super-Single-Reifen. Durch die verringerte Radaufstandsfläche entsteht bei gleichbleibender Achslast eine Erhöhung der Flächenpressung unter dem Reifen um 37% (siehe Bild 1). Auch in Zukunft ist mit weiteren Steigerungen des Verkehrsaufkommens zu rechnen. Im Rahmen der Fortschreibung des Bundesverkehrswegeplanes wird bis 2015 ein Zuwachs im Güterverkehr von über 60% erwartet (bezogen auf das Jahr 1997).

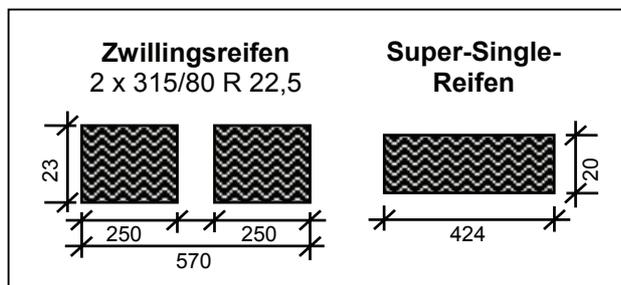


Bild 1: Radaufstandsflächen im Vergleich [mm]

Ein Großteil der heute stehenden Stahlbrücken wurde in den 60er Jahren errichtet, als man die rasante Entwicklung der ermüdungsrelevanten Belastungen in Form von Schwerlastverkehr noch nicht vorhergesehen hat. Während in den neuen Normen für die Bemessung von Stahlbrücken [1] mittlerweile Qualitätsanforderungen für die ermüdungsgerechte Ausbildung von Detailpunkten enthalten sind, wurde seinerzeit bei der Bemessung von Stahlbrücken noch kein Nachweis der Ermüdungssicherheit verlangt. Dies hat in vielen Fällen zu Konstruktionsdetails mit einer sehr geringen Ermüdungsfestigkeit geführt. Seit 15 bis 20 Jahren ist bei orthotropen Fahrbahnplatten eine stetige Zunahme von Schäden in Form von Schweißnaht- und Blechrissen zu verzeichnen, die immer wieder Anlass zu aufwändigen Instandsetzungsmaßnahmen geben (siehe Bild 2).

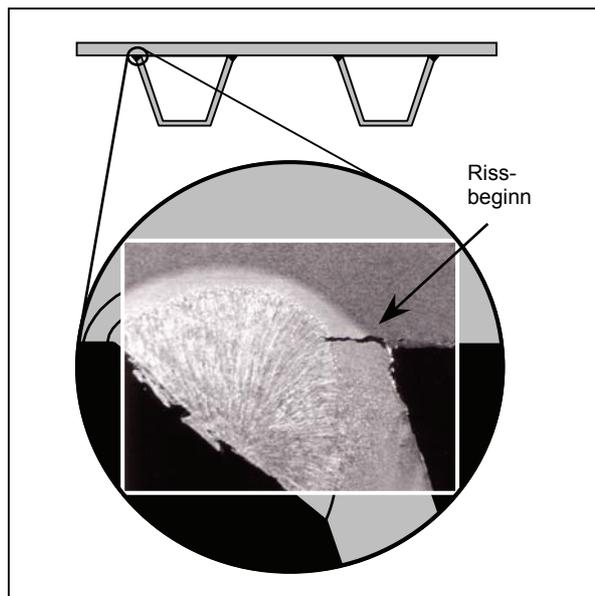


Bild 2: Schliffbild der Schweißnaht zwischen Deckblech und Längssteife

Da aber auch bei starken Schädigungen die Instandsetzung einer Stahlbrücke deutlich kostengünstiger ausfällt als ein Neubau, gilt es, den Bestand der vorhandenen Bauwerke nachhaltig zu sichern. In der Vergangenheit durchgeführte Instandsetzungen, die sich meist nur auf das Ausfugen und Nachschweißen der schadhaften Stellen beschränkt haben, erwiesen sich im Nachhinein oft als kostspielige Maßnahmen, die in etlichen Fällen nicht zu dem erhofften Erfolg führten. Um auch bei weiter ansteigenden Ermüdungsbeanspruchungen eine hinreichende Gesamtlebensdauer ohne erhöhten Erhaltungsaufwand sicherzustellen, werden wirksame Konzepte und neue Lösungen für die Instandsetzung von orthotropen Fahrbahnplatten notwendig.

Die komplexen und komplizierten Zusammenhänge zwischen Belastung, Tragverhalten und Ermüdungsfestigkeit sowie eine Vielfalt von Ansatzmöglichkeiten für die Entwicklung neuer Instandsetzungsmaßnahmen machen entsprechend umfangreiche Untersuchungen erforderlich. Mit der Bündelung unterschiedlicher Aktivitäten leistet die BAST einen wesentlichen Beitrag auf wissenschaftlicher Ebene. Neben der fachtechnischen Betreuung von externen Forschungsprojekten und Pilotanwendungen sei hier insbesondere die BAST-interne Forschungsarbeit erwähnt, die hier näher vorgestellt wird.

Im Rahmen des BAST-Forschungsvorhabens „Verstärkung des Deckblechs orthotroper Fahrbahnplatten durch Aufkleben von Stahlblechen“ soll eine neue Lösung für Instandsetzungsmaßnahmen von Stahlbrücken entwickelt werden. Das Ziel dieser Instandsetzungsvariante ist es, eine Verringerung der Durchbiegungen zu erreichen, was gleichzeitig eine Reduzierung der Spann-

gen bewirkt. Somit lässt sich vermeiden, dass die Spannungen an den neuralgischen Stellen wie z. B. den Schweißnähten eine ermüdungsrelevante Größenordnung überschreiten. Die geplante Wirkung kann jedoch nur erzielt werden, wenn es gelingt, eine vollflächige, kraftschlüssige und dauerhafte Verbindung zwischen dem vorhandenen Deckblech und den als Verstärkung konzipierten Stahlblechen herzustellen. Während sich klassische Verbindungsverfahren wie Nieten, Schrauben oder Schweißen hierfür nur wenig eignen, lässt sich mit dem Fügeverfahren „Kleben“ eine gleichmäßige Spannungs- bzw. Kraftverteilung über die gesamte Klebfläche erreichen.

Eine maßgebliche Grundlage für die Durchführung des Forschungsvorhabens ist die Annahme einer konkreten Vorgehensweise bei der späteren Anwendung in der Praxis. Es wird davon ausgegangen, dass die Verstärkung des Deckblechs orthotroper Fahrbahnplatten zweckmäßigerweise im Zuge der Arbeiten einer planmäßigen Belagsenerneuerung erfolgt. Dabei ist eine manuelle Applikation des Klebstoffs per Zahnpachtel vorgesehen, und die Bleche sollen stückweise im „Parkett-Prinzip“ aufgeklebt werden.

Trotz der sehr speziellen Thematik sind die erforderlichen Untersuchungen so umfangreich, dass die folgenden vier aufeinander bezogenen Projekte initiiert wurden, um eine angemessene Abwicklung zu gewährleisten:

- AP 03 227/B2: Verstärkung des Deckblechs orthotroper Fahrbahnplatten durch Aufkleben von Stahlblechen - Computer-Simulation
- AP 03 226/B2: Verstärkung des Deckblechs orthotroper Fahrbahnplatten durch Aufkleben von Stahlblechen - Optimierung der Klebtechnologie
- AP 03 225/B2: Verstärkung des Deckblechs orthotroper Fahrbahnplatten durch Aufkleben

von Stahlblechen - Dauerfestigkeitsuntersuchungen

- AP 06 ???/B2: Verstärkung des Deckblechs orthotroper Fahrbahnplatten durch Aufkleben von Stahlblechen - Entwicklung und Prüfung von Konstruktionsdetails

Während die Projekte „Computer-Simulation“ und „Optimierung der Klebtechnologie“ bereits erfolgreich abgeschlossen wurden steht die entscheidende Phase des derzeit laufenden Projekts „Dauerfestigkeitsuntersuchungen“ kurz bevor. Das Projekt „Entwicklung und Prüfung von Konstruktionsdetails“ bildet den Abschluss des Forschungsvorhabens und soll im Laufe des Jahres 2006 beginnen.

2. Computer Simulation

Im Rahmen des Projekts „Computer-Simulation“ wurde der Einfluss von Veränderungen der Dicke des Deckbleches am Beispiel der Rheinbrücke Duisburg-Neuenkamp numerisch untersucht. Dabei wurden die Auswirkungen auf die örtlichen Durchbiegungen und auf das Spannungsniveau mit Hilfe von FE-Berechnungen ermittelt. Ziel dieses Projektes war rechnerisch nachzuweisen, dass sich Spannungen und Durchbiegungen bei einer Verstärkung des Deckblechs von 12 mm auf 18 mm und auf 24 mm deutlich reduzieren.

Als Grundlage für die Modellierung wurde die orthotrope Fahrbahnplatte der Rheinbrücke Duisburg-Neuenkamp herangezogen. Die Brücke wurde in den Jahren 1966 bis 1970 als Mittelträger-Schrägseilbrücke mit einer Stromöffnung von 350 m erbaut. Der Hauptträger besteht aus einem zweizelligen Hohlkasten (Breite 12,00 m, Höhe 3,70 m). Die Fahrbahntafel ist als orthotrope Platte mit Längsrippen in Y-Form (Sektkelchprofil) und 12-mm-Deckblech ausgebildet (siehe Bild 3).

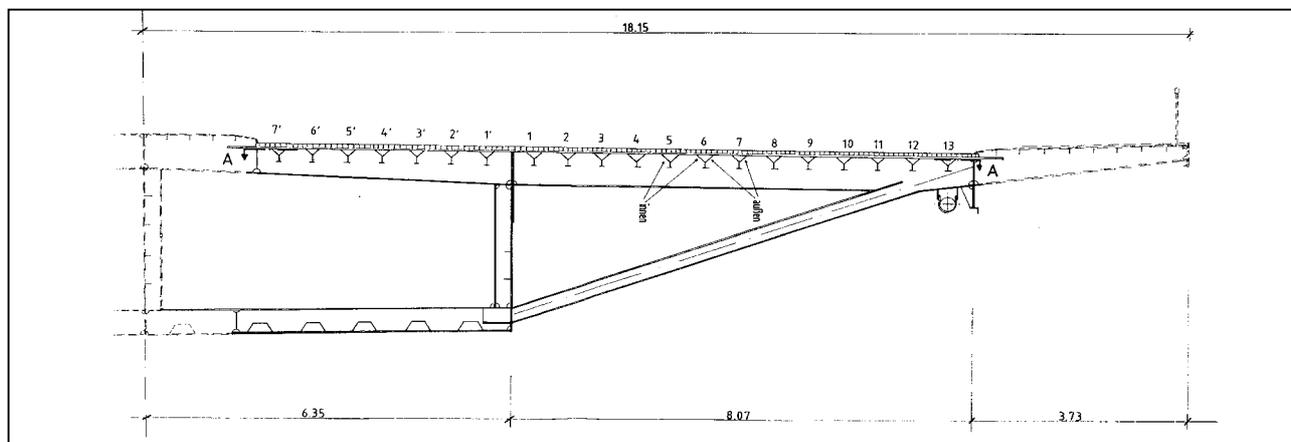


Bild 3: Querschnitt der Brücke Duisburg-Neuenkamp

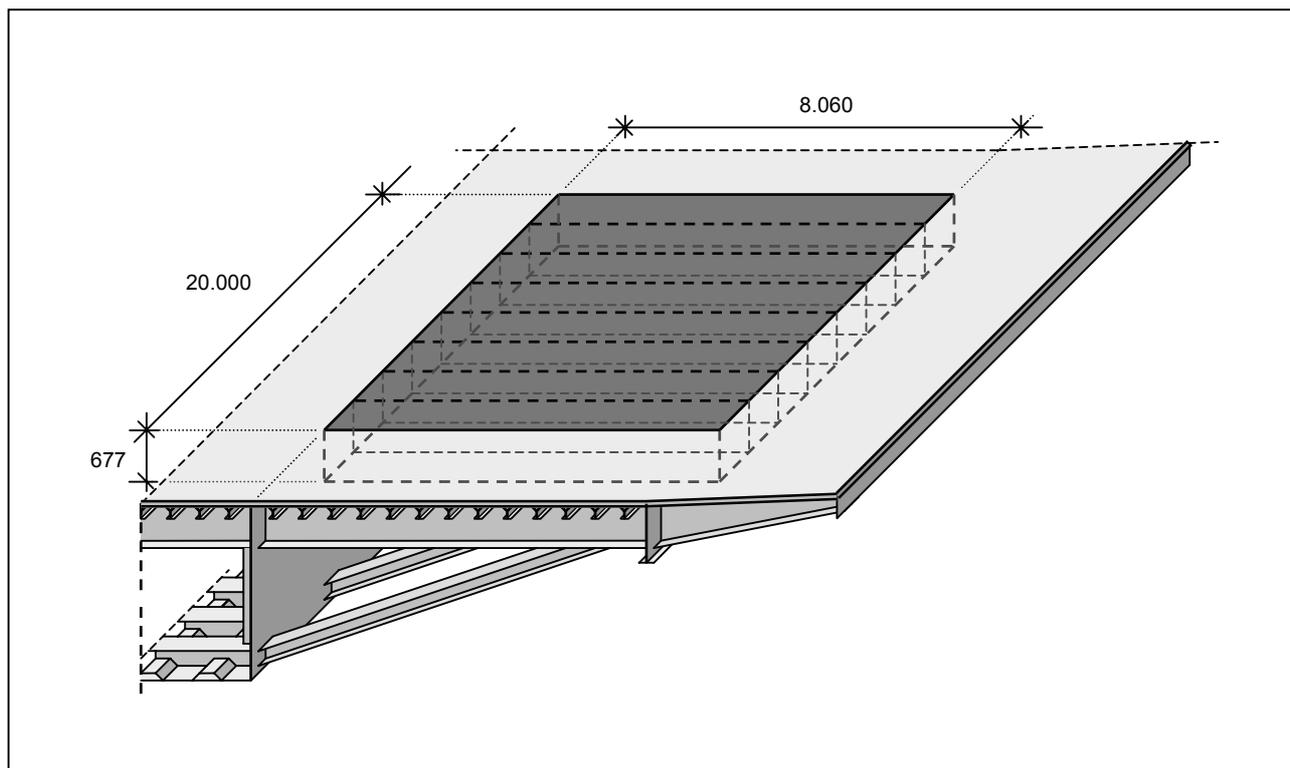


Bild 4: FEM-Modell der orthotropen Fahrbahnplatte
Duisburg Neuenkamp

Das Modell der orthotropen Platte besteht aus 84.000 Elementen des Typs „shell63“ des FE-Programms ANSYS und hat die Abmessungen (siehe Bild 4):

Querrichtung: Abbildung der orthotropen Platte zwischen zwei Längsträgern:
8.060 mm,

Längsrichtung: acht Querträgerabstände mit je 2.500 mm: 20.000 mm,

mittlere Höhe: 677 mm.

Die rechnerische Belastung erfolgte mit dem Fahrzeug entsprechend dem Ermüdungslastmodell 3 des DIN-Fachberichts 101 [2]. Dieses Modell besteht aus vier Achsen mit je zwei identischen Rädern. Die Achslasten betragen je 120 kN; die Aufstandsfläche jedes Rades ist ein Quadrat mit 0,40 m Seitenlänge (siehe Bild 5).

Es wurden 4 Lastfälle untersucht, die sich durch die jeweilige Position des Fahrzeugs unterscheiden. Bei jedem Lastfall wurden für die unterschiedlichen Deckblechdicken von 12 mm, 18 mm und 24 mm die örtlichen Durchbiegungen des Deckblechs, die Spannungen im Deckblech und die Spannung in der Schweißnaht zwischen Längsrippe und Deckblech bestimmt.

Die Ergebnisse sind in Diagrammen (Bilder 6-8) dargestellt und zeigen, dass sich die örtlichen Durchbiegungen, die Vergleichsspannungen in

der Fahrbahnplatte und die Vergleichsspannungen in der Schweißnaht des Kelchblechs bei einer Zunahme der Dicke des Deckblechs von 12 mm auf 18 mm (bzw. auf 24 mm) erwartungsgemäß deutlich vermindern.

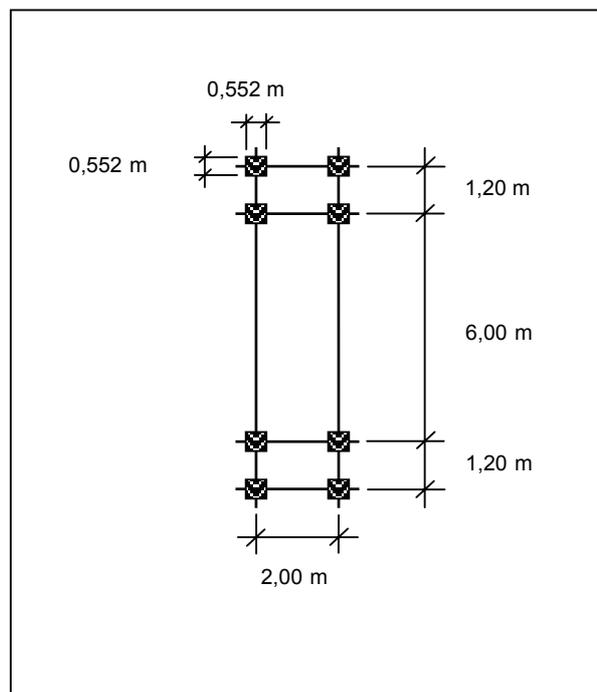


Bild 5: Ermüdungslastmodell 3

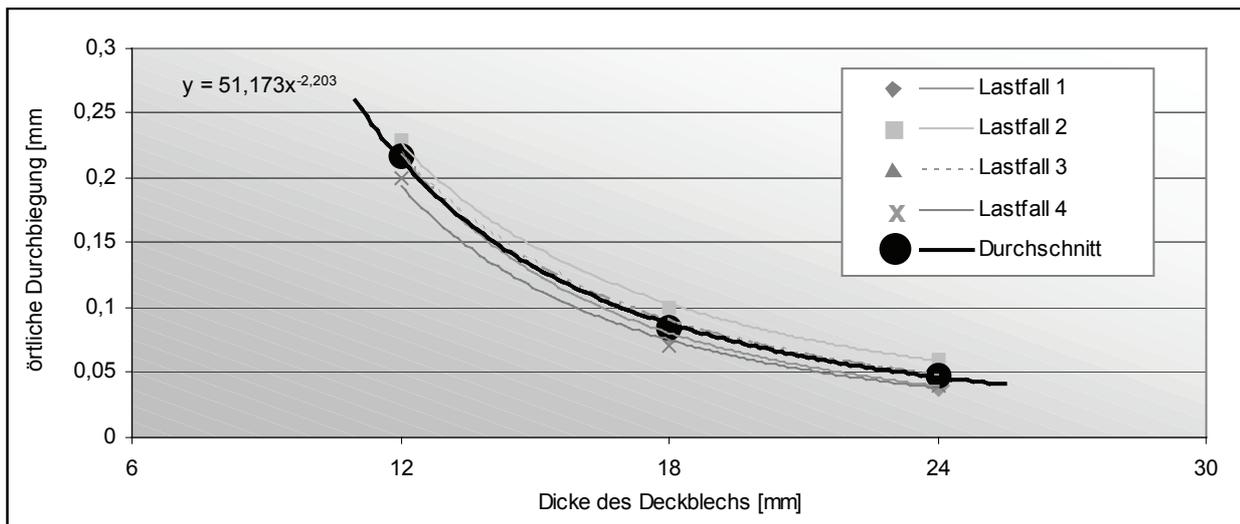


Bild 6: Vergleich der örtlichen Durchbiegungen

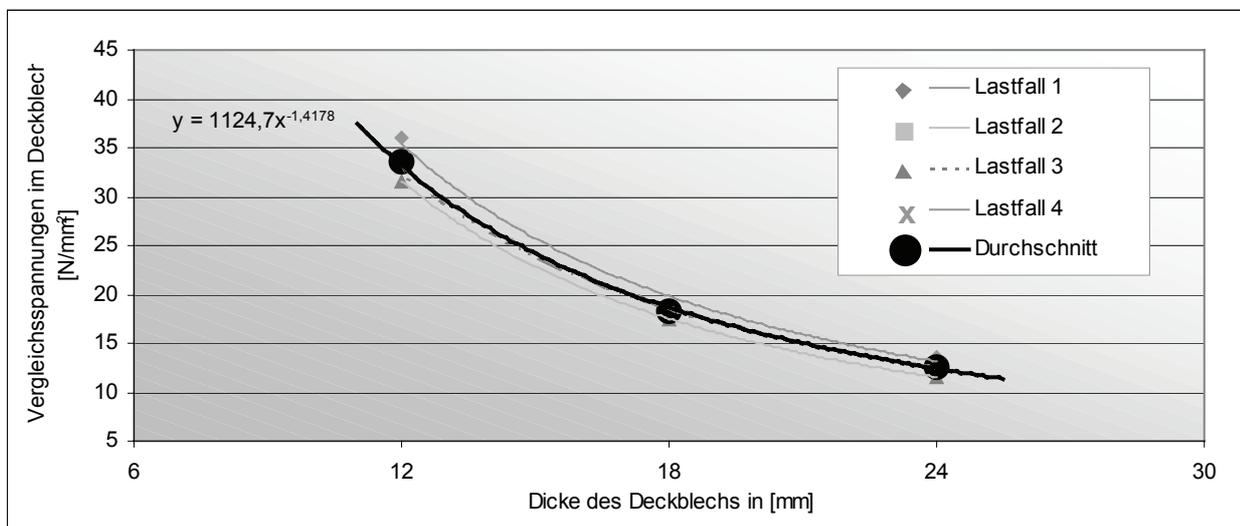


Bild 7: Vergleich der Vergleichsspannungen im Deckblech

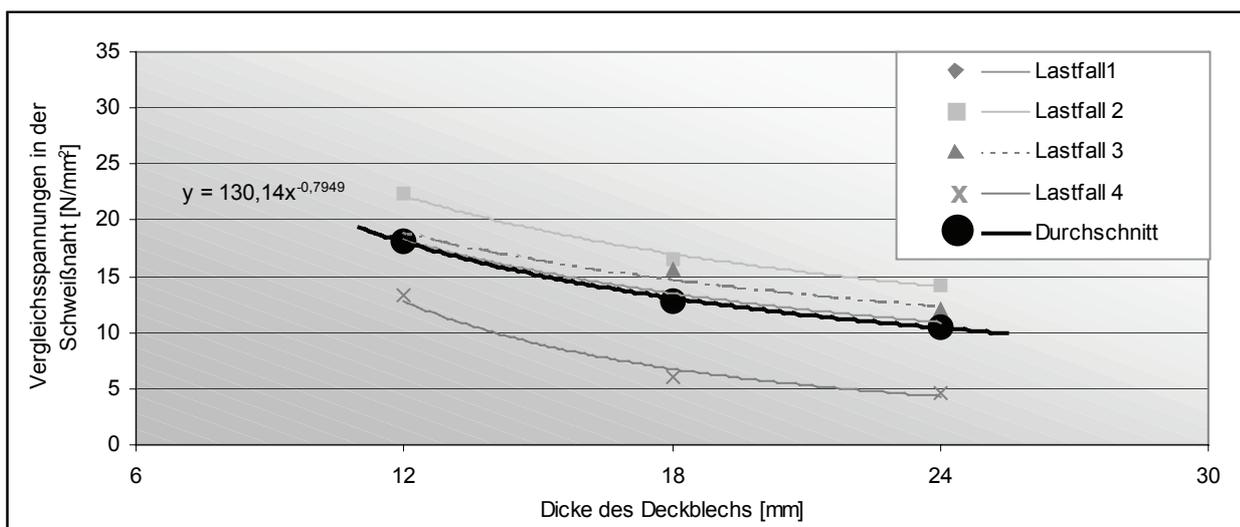


Bild 8: Vergleich der Vergleichsspannungen in der Schweißnaht

Damit ist der Nachweis erbracht, dass eine Deckblechverstärkung eine sinnvolle Instandsetzungsmaßnahme ist, mit der sich eine signifikante Reduzierung der Spannungen und Durchbiegungen erreichen lässt. Eine wirtschaftlich sinnvolle Grenze scheint allerdings bei einer Verstärkung von 12 mm auf 18 mm zu liegen.

In der Praxis ist es erforderlich, bestehende Deckbleche (mit in der Regel 12 mm Dicke) schubfest zu verstärken, so dass sie in der Wirkungsweise homogenen Deckblechen mit einer größeren Dicke entsprechen. Inwiefern sich dies durch das vorgesehene Fügeverfahren „Kleben“ technologisch realisieren lässt, ist Gegenstand der weiteren Arbeitsschritte im Rahmen des Forschungsvorhabens „Verstärkung des Deckblechs orthotroper Fahrbahnplatten durch Aufkleben von Stahlblechen“. Besonderes Augenmerk gilt in diesem Zusammenhang der Temperaturbeständigkeit und der Dauerfestigkeit.

3. Optimierung der Klebtechnologie

Das vorrangige Ziel des Projekts „Optimierung der Klebtechnologie“ war es, den klebtechnischen Prozess auf die speziellen Rahmenbedingungen abzustimmen, die bei der Instandsetzung von orthotropen Fahrbahnplatten vorherrschen. Sowohl Klebstoff und Applikationsverfahren als auch die aufzuklebenden Bleche müssen im Hinblick auf einen erfolgreichen Praxiseinsatz bestimmte Anforderungen erfüllen. Diese Anforderungen wurden definiert, geeignete Produkte bzw. Verfahren ausgewählt, ein Versuchsprogramm erarbeitet und die entsprechenden Klebversuche durchgeführt. Im Rahmen des Projekts wurden 24 Probekörper mit den Abmessungen 1000 mm x 500 mm x 18 mm hergestellt. Die Klebungen erfolgten mit Epoxidharz-Klebstoffen, die für die Bauteilverstärkung mit Stahllamellen zugelassen sind (siehe Bild 9). Die Probekörper unterscheiden sich durch die jeweilige Kombination der Bleche, Klebstoffe und Applikationsverfahren.



Bild 9: Klebstoffapplikation

Um die Klebflächen beurteilen und bewerten zu können, wurden die hergestellten Klebverbindungen nach einer ausreichend langen Aushärtezeit wieder getrennt. Anhand von Gegenüberstellung und Vergleichsbetrachtungen konnten Rückschlüsse und Empfehlungen für die Praxis abgeleitet werden. Das Hauptaugenmerk richtete sich dabei auf die Einflüsse von Blechgröße, Klebstoffen und Applikationsverfahren auf die erzielten Klebschichtdicken und die in Erscheinung getretenen Fehlstellen.

Um die optimale Blechgröße zu ermitteln, wurden bei den Versuchen Bleche unterschiedlicher Länge und Breite verwendet. Bei 12 Probekörpern wurde ein großes Verstärkungsblech (mit den Abmessungen 1000 mm x 500 mm) aufgeklebt und bei 12 Probekörpern jeweils 5 kleinere Verstärkungsbleche (Abmessungen und Anordnung siehe Bild 10).

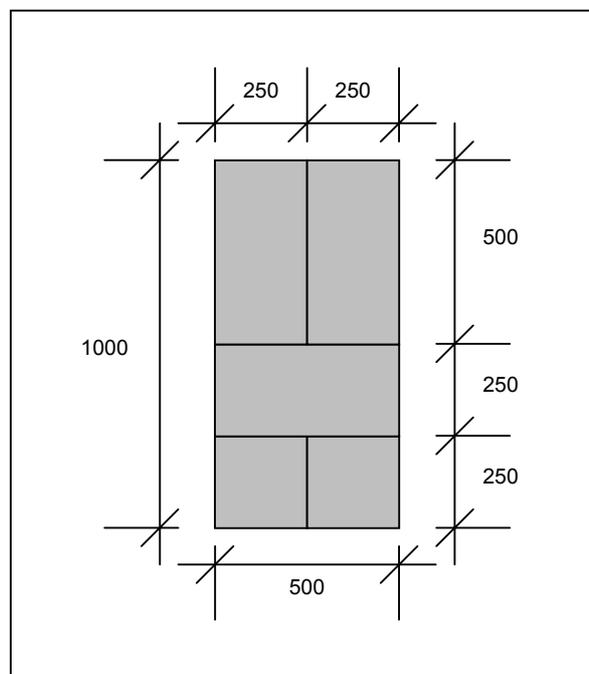


Bild 10: Abmessungen und Anordnung der Verstärkungsbleche [mm]

Aufgrund des relativ geringen Anteils an Fehlstellen auch bei den größeren Blechen sind Verstärkungsbleche mit Abmessungen von etwa 900 mm x 300 mm zu empfehlen. Bis zu dieser Größenordnung lassen sich die Bleche mit der Hilfe von Saughebern gut platzieren und können ohne einen übermäßigen Anteil an Fehlstellen verklebt werden. Bei einem Abstand der Längssteifen untereinander von üblicherweise 300 mm lassen sich stets $1\frac{1}{2}$ solcher Längssteifen mit einem Verstärkungsblech überkleben (siehe Bild 11).

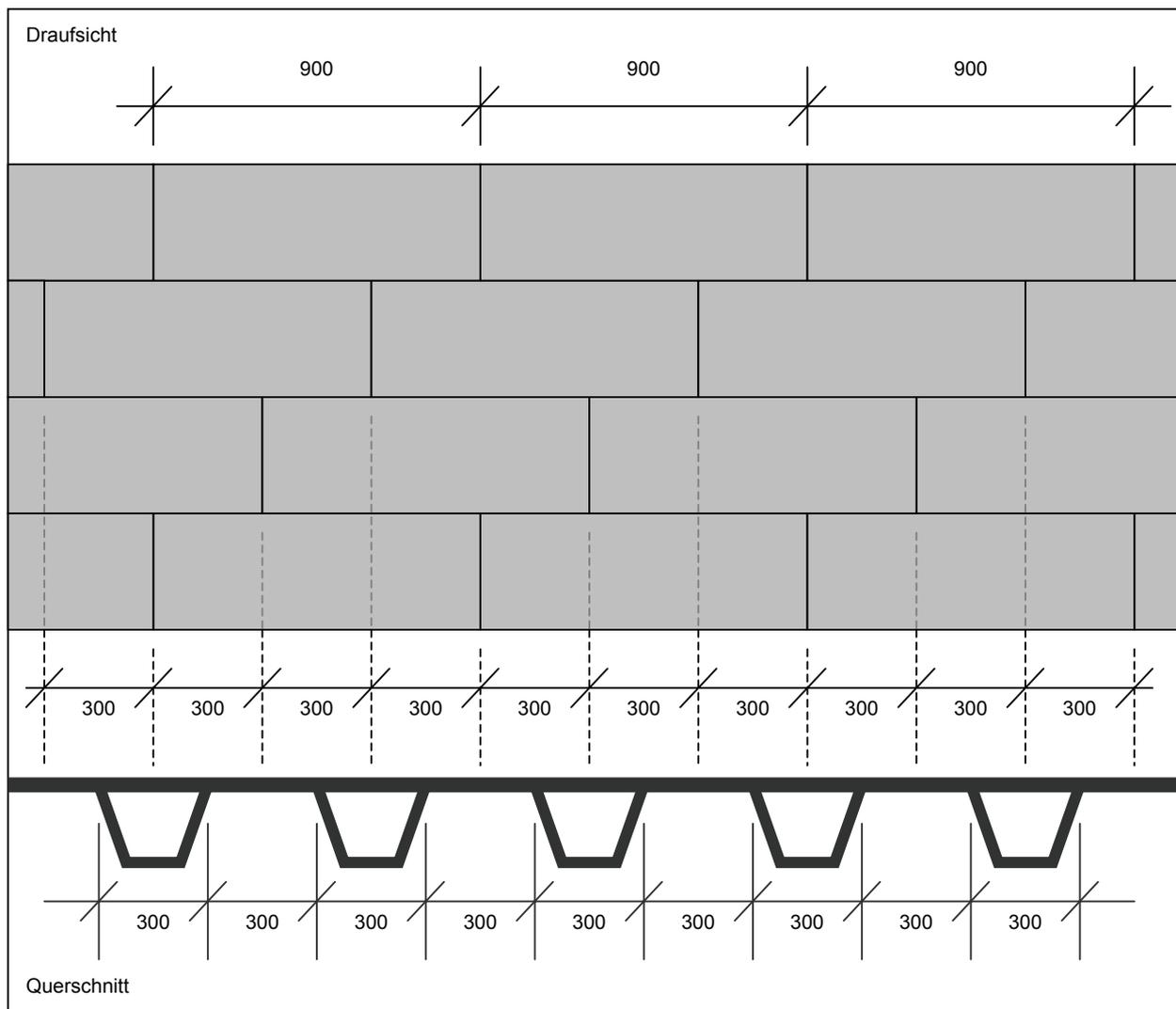


Bild 11: Mögliche Größe und Anordnung der Verstärkungsbleche [mm]

Für potenzielle Klebstoffe wurden bestimmte Anforderungen in Bezug auf den Gebrauchszustand und die Verarbeitbarkeit definiert. Ein elementares Kriterium stellt hierbei die Beständigkeit gegen Hitze beim Gussasphalteinbau dar.

Der entsprechende Nachweis erfolgte anhand von Vorversuchen. Dabei wurden Probekörper hergestellt (Bleche 700 mm x 200 mm x 6 mm geklebt auf 700 mm x 200 mm x 6 mm) und sowohl thermisch als auch statisch belastet. Die thermische Belastung erfolgte mit 250°C heißem Sand (in Anlehnung an ein Ersatzverfahren der thermischen Belastungsprüfung mit Silikonöl [3]), wobei eine Schichtdicke von etwa 10 cm hergestellt wurde, um auch die für den maschinellen Einbau typischen Gussasphalthaufen vor der Einbaubohle zu simulieren. Die statische Belastung erfolgte anhand einer 3-Punkt-Biegeprüfung, wobei als Referenz auch ein unverklebtes Blech (700 mm x 200 mm x 12 mm) durchgebogen wurde. In Bild 12 ist das entsprechende Kraft-Verformungs-Diagramm dargestellt.

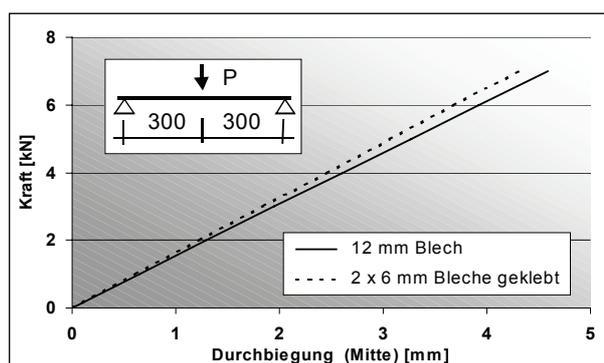


Bild 12: Kraft-Verformungs-Diagramm

Bei den geklebten Probekörpern (6 mm + 6 mm) liegen die gemessenen Durchbiegungen bei gleicher Kraft niedriger als die bei dem 12 mm dicken Blech ermittelten Werte. Dieses Ergebnis resultiert aus der geringfügig größeren Gesamtdicke infolge der Klebschicht und beweist die gute Scherfestigkeit des Klebstoffs. Ergänzend dazu wurde ein ebenfalls zuvor thermisch belasteter Probekörper (700 mm x 200 mm x 6 mm geklebt

auf 700 mm x 200 mm x 12 mm) in der 3-Punkt-Biegeprüfung bis deutlich in den plastischen Bereich hinein verformt. Negative Auswirkungen auf die Klebschicht (wie Schubversagen o. ä.) waren dabei nicht festzustellen (siehe Bild 13).

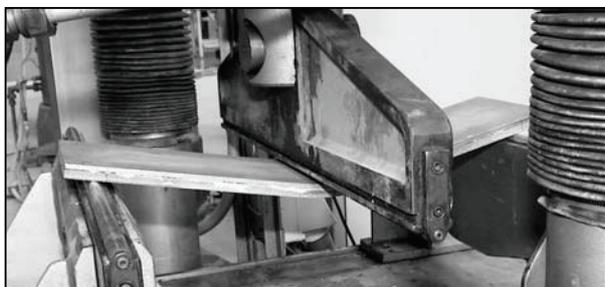


Bild 13: Probekörper bei der Biegeprüfung

Die verwendeten Klebstoffe haben sich als tauglich erwiesen und werden im Rahmen des Forschungsvorhabens „Verstärkung des Deckblechs orthotroper Fahrbahnplatten durch Aufkleben von Stahlblechen“ weiterhin Anwendung finden.

Durch die Applikation des Klebstoffs mit unterschiedlichen Zahnspachteln wurden sowohl die Klebschichtdicke als auch der Anteil der Fehlstellen maßgeblich beeinflusst. Die Versuche haben gezeigt, dass eine Klebschichtdicke von mehr als 3 mm erforderlich ist, um zuverlässig einen Anteil der Fehlstellen von weniger als 10% zu erhalten (siehe Bild 14). Dies wurde ausschließlich bei der Verwendung des 5-mm-Dreiecks-Zahnspachtels mit beidseitigem Klebstoffauftrag erreicht, der somit auch für die Praxis empfohlen werden kann. Zu prüfen bleibt, welche Ergebnisse vergleichsweise mit einem 10-mm-Zahnspachtel erzielt werden, was gegebenenfalls eine weniger aufwändige Alternative wäre. Im Rahmen des Projekts „Dauerfestigkeitsuntersuchungen“ sollten daher diese beide Varianten berücksichtigt werden.

Die erarbeiteten Randbedingungen und Vorgaben für Bleche, Klebstoffe und Applikationsverfahren repräsentieren eine optimierte Lösung für den klebtechnischen Prozess. Die gewonnenen Ergebnisse bilden eine wesentliche Grundlage sowohl für die Durchführung der weiteren Projekte im Forschungsvorhaben „Verstärkung des Deckblechs orthotroper Fahrbahnplatten durch Aufkleben von Stahlblechen“ als auch für eine Anwendung der Klebtechnik auf Stahlbrücken generell.

4. Dauerfestigkeitsuntersuchungen

Im Rahmen des derzeit laufenden Projekts „Dauerfestigkeitsuntersuchungen“ ist insbesondere vorgesehen, anhand von praxisnahen Dauer-Schwell-Biege-Versuchen die Existenz einer technologischen Dauerfestigkeit der Klebverbindungen nachzuweisen. Der Nachweis der Dauerfestigkeit ist notwendig, um einen Praxiseinsatz der geplanten Instandsetzungsmaßnahme verantworten zu können, und stellt somit den entscheidenden Schritt im Gesamtvorhaben „Verstärkung des Deckblechs orthotroper Fahrbahnplatten durch Aufkleben von Stahlblechen“ dar.

Damit aussagekräftige Wöhler-Kurven erstellt werden können, sind 65 Dauer-Schwell-Biege-Versuche geplant. Dabei handelt es sich um 5-Punkt-Biege-Versuche (in Anlehnung an die Prüf-anordnung gemäß TP-BEL-ST [4]), so dass das maximale Feldmoment und das maximale Stützmoment eine annähernd gleiche Größenordnung erreichen. Die Geometrie der Versuchs-Anordnung entspricht orthotroper Fahrbahnplatten mit einem Abstand der Längssteifen von 300 mm (siehe Bild 15).

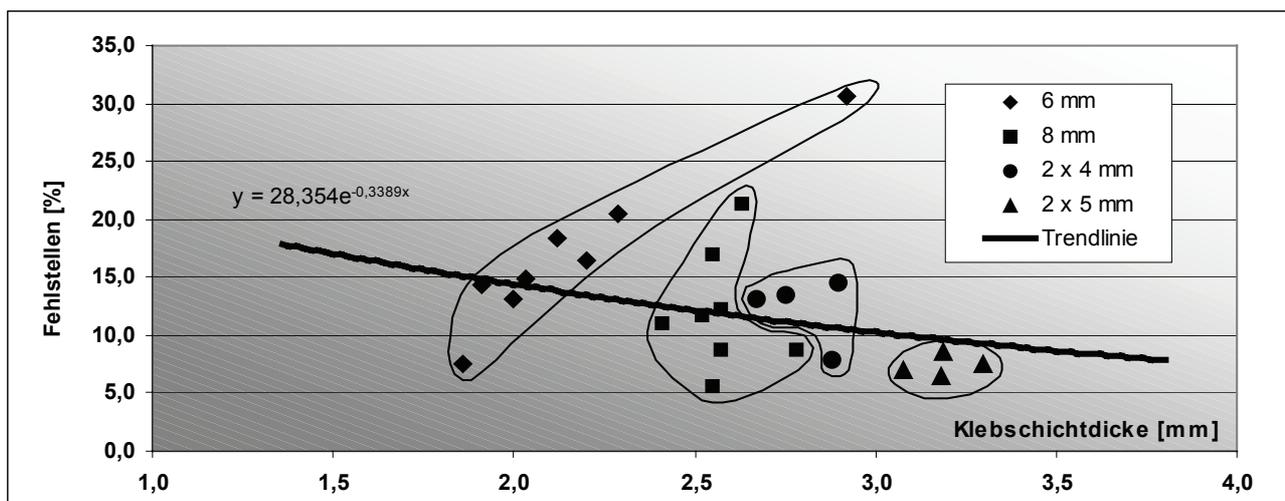


Bild 14: Relation zwischen Klebschichtdicke und Fehlstellen

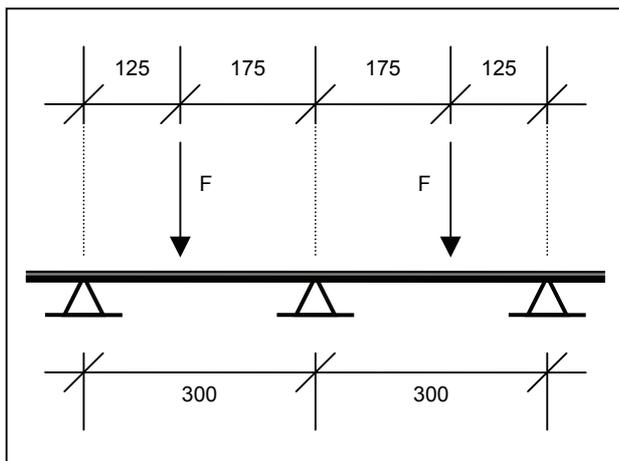


Bild 15: Versuchsanordnung für die Dauer-Schwell-Biege-Prüfungen

Die Probekörper bestehen aus auf Grundblechen (700 mm x 200 mm x 12 mm) geklebten Verstärkungsblechen (700 mm x 200 mm x 6 mm) und wurden zum Teil bereits hergestellt. Sobald eine der beiden derzeit anderweitig genutzten Hydropulsanlagen der BAST verfügbar ist, kann mit der Durchführung der Dauer-Schwell-Biege-Versuche begonnen werden.

5. Entwicklung und Prüfung von Konstruktionsdetails

Das Projekt „Entwicklung und Prüfung von Konstruktionsdetails“ stellt eine Ergänzung zu den vorausgegangenen Projekten zum Thema „Verstärkung des Deckblechs orthotroper Fahrbahnplatten durch Aufkleben von Stahlblechen“ dar. Im Rahmen dieses Projekts sollen die für einen Praxiseinsatz maßgeblichen Details und Randbedingungen untersucht werden. Besonderes Augenmerk gilt hierbei Aspekten wie der Randausbildung, der zerstörungsfreien Prüfung der Klebung, dem Kleben auf unebenem Untergrund sowie der Dauerfestigkeit bei unsauberer Ausführung der Klebung.

Sinnvoller Weise soll der Beginn des Projekts „Entwicklung und Prüfung von Konstruktionsdetails“ erst dann erfolgen, wenn sich beim Projekt Dauerfestigkeitsuntersuchungen ein positives Ergebnis abzeichnet.

6. Ausblick

Vorausgesetzt, dass auch die Projekte „Dauerfestigkeitsuntersuchungen“ und „Entwicklung und Prüfung von Konstruktionsdetails“ erfolgreich abgeschlossen werden, steht mit der „Verstärkung des Deckblechs orthotroper Fahrbahnplatten durch Aufkleben von Stahlblechen“ demnächst eine weitere innovative Instandsetzungsmaßnahme zur Verfügung. Sie repräsentiert den

aktuellen Stand der Technik und kann gegenüber patentierten Systemen eine kostengünstige Alternative darstellen.

Parallel zu den laufenden Projekten ist bereits heute die Umsetzung von klebtechnischen Maßnahmen in der Praxis geplant. Als Vorstufe für eine Pilotanwendung ist der Einsatz von D-Brücken-Fahrbahnplatten besonders geeignet, da sie sowohl als Bestandteil von Behelfsbrücken unter realen Verkehrslasten als auch im Labor getestet werden können. Basierend auf den vorgestellten Forschungsergebnissen kann nunmehr eine effiziente Verstärkung von D-Brücken-Fahrbahnplatten durch das Aufkleben von Stahlblechen erfolgen. Eine weitere Einsatzmöglichkeit könnte im Bereich der Instandsetzung von Deckblechriefen liegen. Die beim unvorsichtigen Entfernen des Asphalts entstandenen bis zu 8 mm tiefen Riefen sind Schwachstellen, die sich durch das Aufkleben von Stahlblechen wahrscheinlich weitgehend entschärfen ließen.

Die BAST beabsichtigt, die weitere Entwicklung der Fügetechnik Kleben im Stahlbrückenbau fachtechnisch begleiten und möchte auch zukünftig den Austausch aktueller Informationen unterstützen.

7. Literatur

- [1] DIN-Fachbericht 103 Stahlbrücken
Deutsches Institut für Normung
2. Auflage
Berlin 2003
- [2] DIN-Fachbericht 101
Einwirkungen auf Brücken,
Deutsches Institut für Normung
2. Auflage
Berlin 2003
- [3] M. Eilers, B. Quaas, M. Staeck
Ersatz der thermischen Belastungsprüfung
mit Silikonöl
Bundesanstalt für Straßenwesen
Bergisch Gladbach 2005
unveröffentlicht
- [4] Technische Prüfvorschriften für die Prüfung
der Dichtungsschichten und der Abdichtungs-
Systeme für Brückenbeläge auf Stahl
(TB-BEL-ST),
Ausgabe 1992