

Neue Wege bei der Verstärkung orthotroper Fahrbahnplatten

Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. G. Sedlacek, Dipl.-Ing. M. Paschen

*Prof. Sedlacek & Partner, Planung und Entwicklung im Bauwesen GmbH,
Aachen-Dortmund-Berlin*

Zusammenfassung

Stahlbrücken mit orthotropen Fahrbahnplatten haben in Deutschland eine lange Tradition. Aufgrund der aktuellen Verkehrsentwicklung wird die Instandsetzung und nachhaltige Verstärkung von Brücken wichtig für die Aufrechterhaltung der Verkehrsinfrastruktur. Durch die Vorteile, die die Stahlbrückenbauweise liefert, sind viele der Brücken mit orthotroper Fahrbahnplatte an zentralen Stellen der Verkehrswege, z.B. Rheinüberquerungen errichtet worden. Nachfolgend werden die Bedingungen und Grundsätze, die bei der Instandsetzung und Verstärkung von orthotropen Fahrbahnplatten zu beachten sind, erläutert. Erfahrungen haben gezeigt, dass nur die Verstärkungsmaßnahmen, die das Trag- und Verformungsverhalten der orthotropen Fahrbahnplatten konsequent beachten, erfolgreich sind. Bei den einzelnen Instandsetzungsmaßnahmen können einige Maßnahmen projektübergreifend eingesetzt werden, andere sind auf den jeweiligen Anwendungsfall begrenzt. In fast allen europäischen Ländern, insbesondere in den Niederlanden, Frankreich und Deutschland, werden z. T. verschiedene Verstärkungsmaßnahmen untersucht, z. T. haben inzwischen Probeanwendungen stattgefunden, oder es wurden bereits Brücken mit erfolgversprechenden Maßnahmen ausgestattet.

1. Entwicklung der orthotropen Fahrbahnplatten

Die Anfänge der orthotropen Fahrbahnplatten im Brückenbau basieren auf Entwicklungen aus dem Schiffsbau. Die erste orthotrope Fahrbahnplatte wurde 1936 noch mit erheblichem Richtaufwand handgeschweißt zusammengebaut, s. Bild 1.

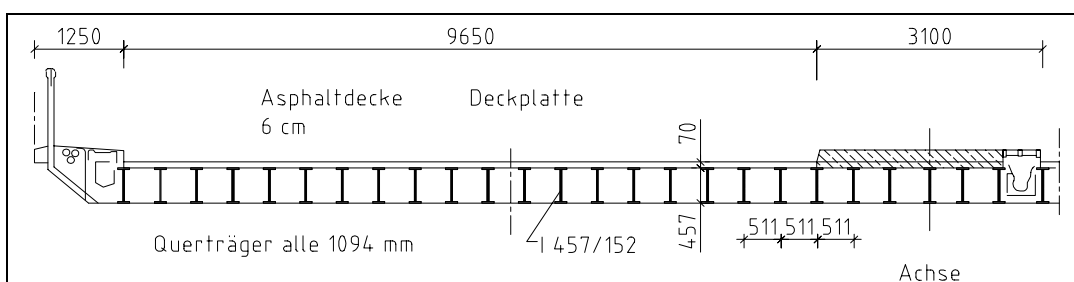


Bild 1: Geschweißte ausgesteifte Fahrbahnplatte bei der Autobahnbrücke Kirchheim/Teck, gebaut 1936

Hierbei war die orthotrope Fahrbahnplatte noch ein ‚aufgelegtes‘ Bauteil, d.h. noch kein Bestandteil des Haupttragwerks, später bildete die orthotrope Fahrbahnplatte den Obergurt der Brücke, s. Bild 2.

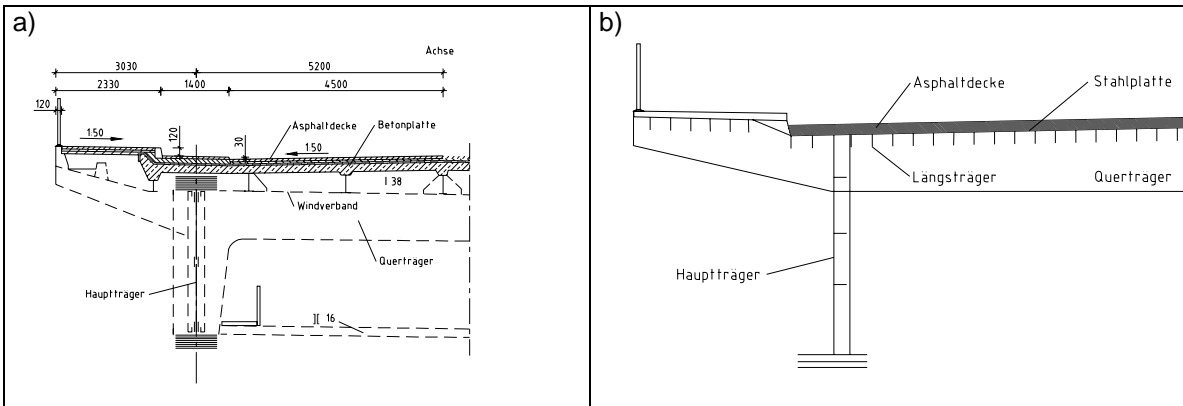


Bild 2: Entwicklung der Fahrbahnplatte als Obergurtbestandteil

- a) Fahrbahnplatte als ‚aufgelegtes‘ Bauteil
- b) Fahrbahnplatte als mitwirkender Obergurt

1950 wurde die Kurpfalzbrücke in Mannheim von der Fa. MAN gebaut (s. Bild 3), bemessen von Dr. Cornelius, der ausgehend von der Huberschen Differentialgleichung für orthogonal-anisotrope Platten Untersuchungen zu einer Dimensionierung mit minimalen Stahlgewicht durchführte.

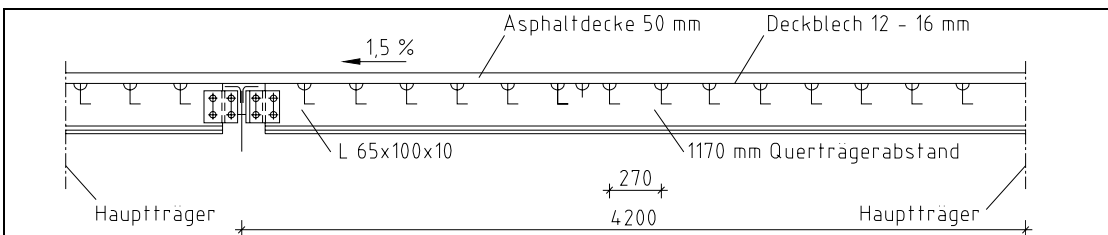


Bild 3: Fahrbahnplatte der Kurpfalzbrücke, gebaut 1950

Die Aussteifungen der Fahrbahnplatten bestanden zunächst aus offenen Profilen, s. Bild 4a), die durch den Querträgersteg hindurchgeführt werden, s. Bild 4b).

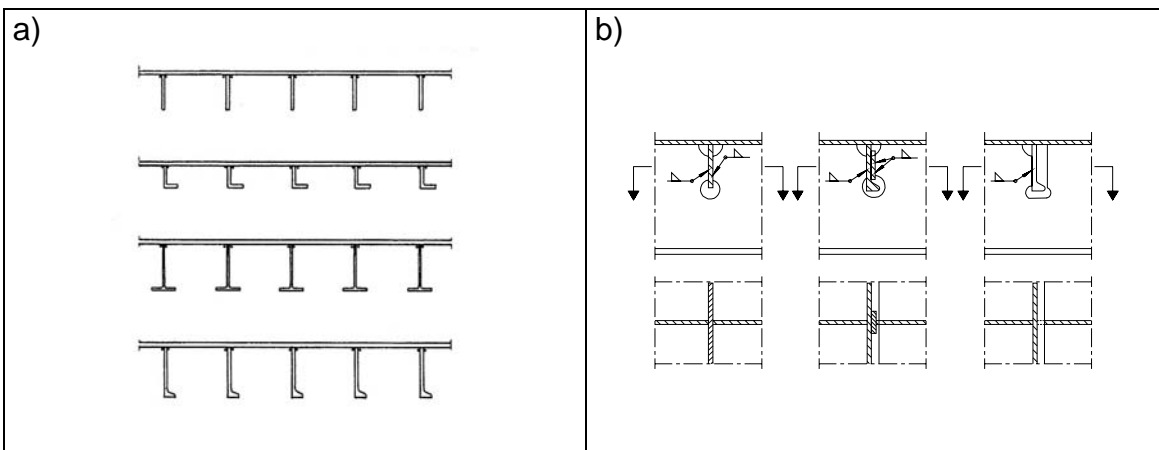


Bild 4: Detailgestaltung

- a) Verschiedene offene Längsrippenprofile
- b) Durchdringungspunkt mit dem Querträger

1954 wurden die ersten Brücken mit geschlossenen Steifen gebaut, die Rheinbrücke Duisburg-Homberg und die Weserbrücke Porta, s. Bild 5.

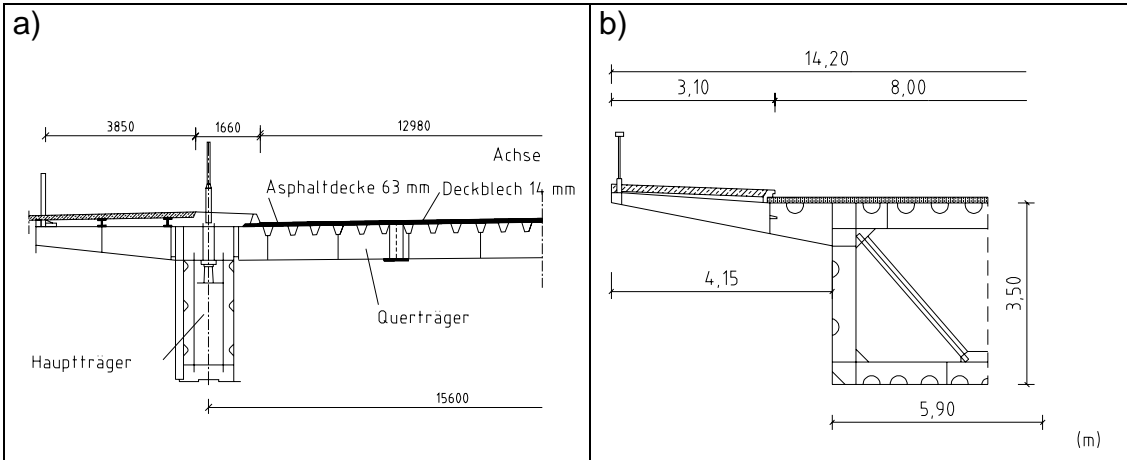


Bild 5: Fahrbahnplatten mit geschlossenen Längssteifen

- a) Rheinbrücke Duisburg Homberg
- b) Weser-Brücke Porta

Probleme bereiteten zunächst die Kreuzungspunkte mit dem Querträger, teilweise wurden zwischen den Querträgern eingepasste Längssteifen eingeschweißt. Das hat zu Schäden aus dem Schweißnahtschrumpf und aus Überbeanspruchungen infolge unvermeidbarer Exzentrizitäten geführt.

Aufgrund der Kosten der Herstellung der Kreuzungspunkte wurden verschiedene zusammengesetzte geschlossene Längsrippenprofile entwickelt, die die Querträgerabstände vergrößerten und damit die Anzahl der Kreuzungspunkte verkleinerten. Es wurden auch Platten gebaut, bei denen die Rippen quer zur Brückenlängsrichtung angeordnet wurden, s. Bild 6.

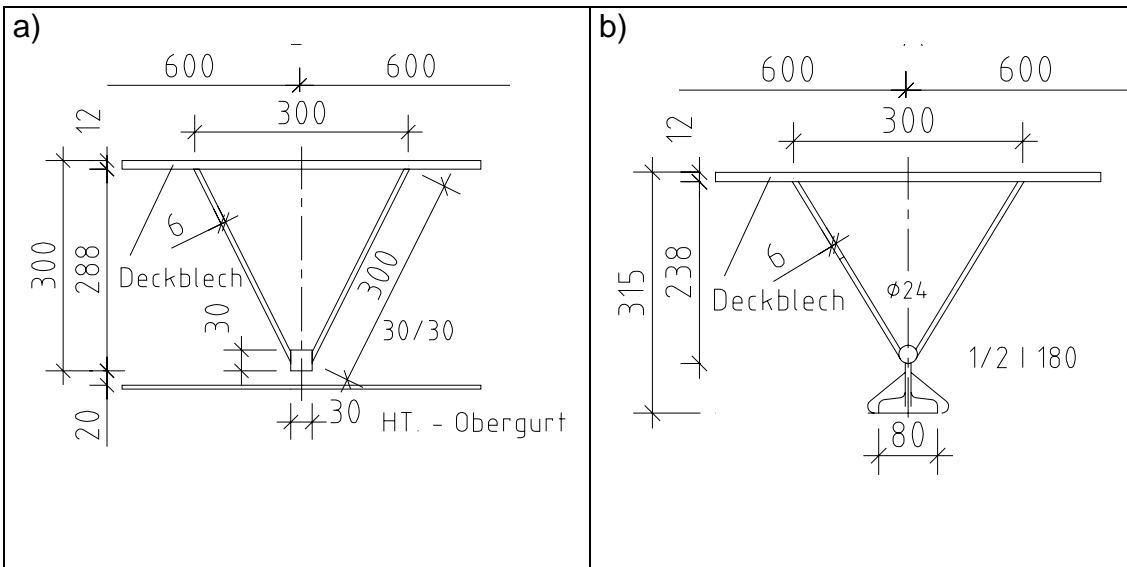
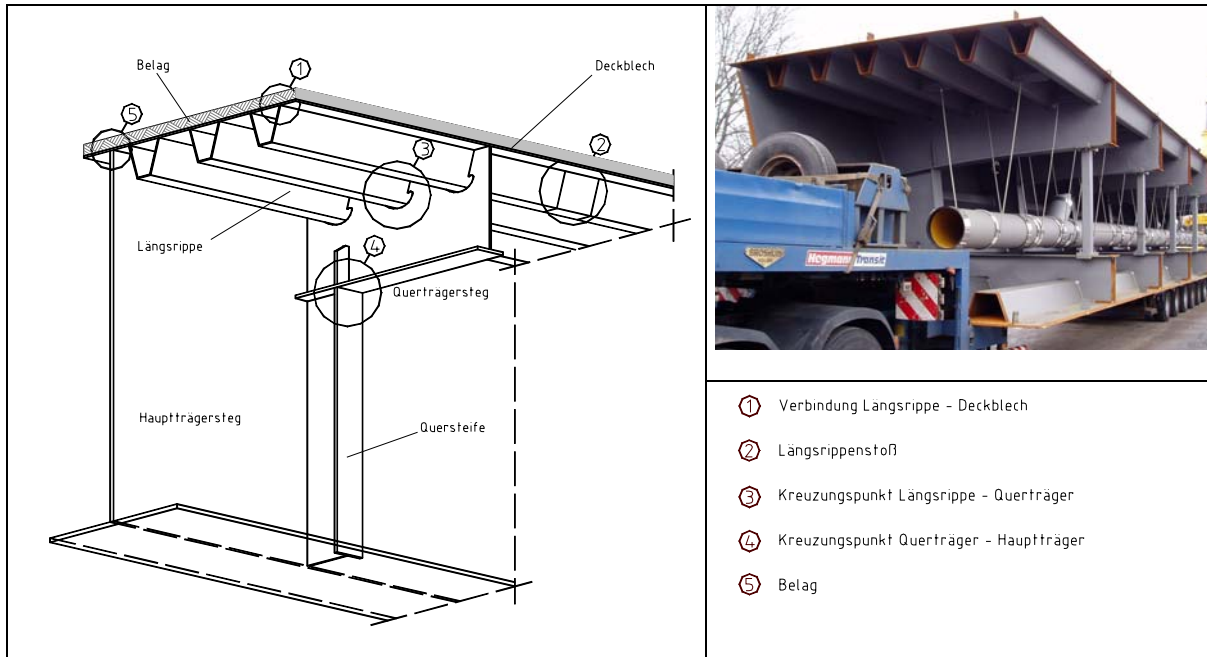


Bild 6: Geschlossene Fahbahnrippen

- a) Thalabachbrücke – Längsrippenprofil querausgerichtet
- b) Rötensteinbrücke – ‚Sektkelchprofil‘ längsausgerichtet

Aufgrund der Entwicklung bei der Kaltumformtechnik war es Ende der 60er Jahre möglich, statt durch Schweißen zusammengesetzten Profile abgekantete Trapezhohlprofile in verschiedenen Profilgrößen einfach herzustellen. Damit konnten erheblich Schweißvolumen gespart werden.

Die heutige Bauweise mit Trapezhohlprofilen, die seit ca. 1970 unverändert zum Einsatz kommt, ist in Bild 7 dargestellt.



- ① Verbindung Längsrippe - Deckblech
- ② Längsrippenstoß
- ③ Kreuzungspunkt Längsrippe - Querträger
- ④ Kreuzungspunkt Querträger - Hauptträger
- ⑤ Belag

Bild 7: Standardbauweise der orthotropen Fahrbahnplatte /2/

Die Stützweite der Längsrippe konnte bis auf 5 m erhöht werden. Die Lieferlänge der Profile lag in der Regel bei 12 m, so dass die Längsrippen in der Regel durch den Querträgersteg hindurchgeführt wurden, die Detailgestaltung ist in Bild 8 dargestellt. Die Ausnehmungen der Querträgerstege am Rippenuntergurt dienten gleichzeitig dazu, mögliche Abkanttoleranzen der Trapezprofile aufzunehmen.

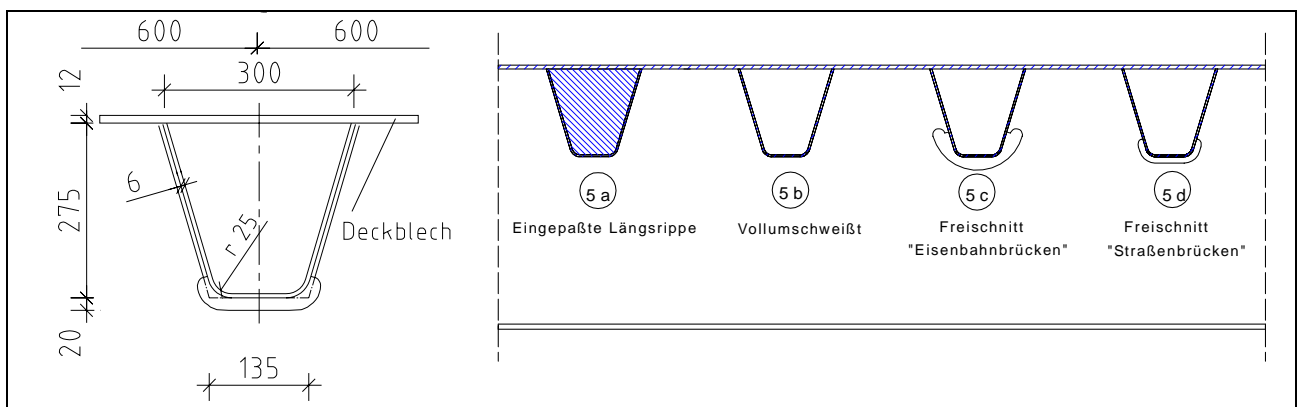


Bild 8: Standarddetailgestaltung und verschiedene heutige Ausführungsformen /1/

Gleichzeitig konnte die Detailgestaltung und der Zusammenbau standardisiert werden, so dass eine gute Qualitätsüberwachung möglich wurde, s. Bild 9.

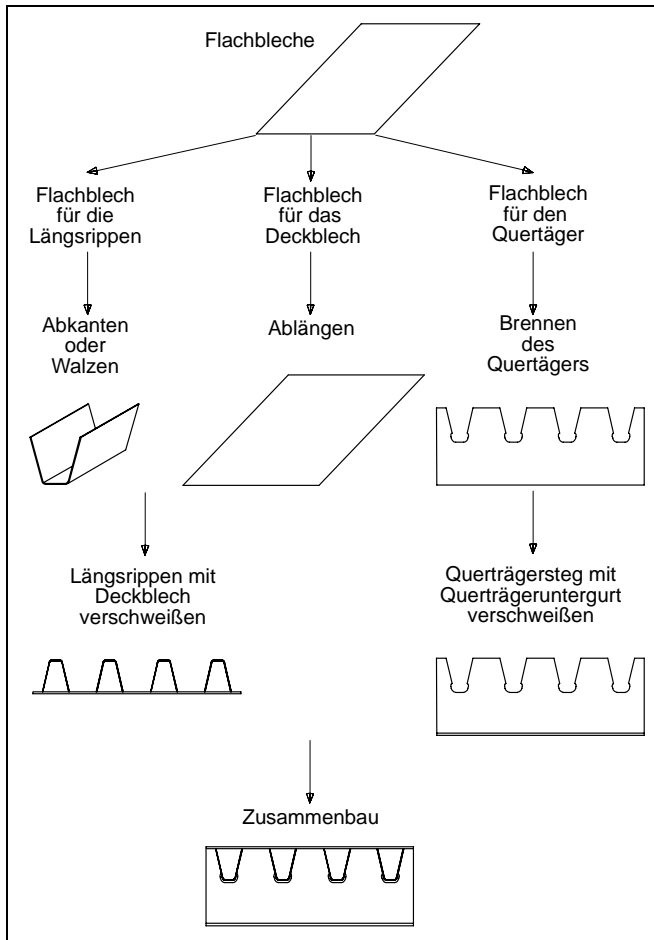


Bild 9: Fertigung von Fahrbahnplatten /1/

Die „Empfehlungen für die bauliche Durchbildung von Stahlfahrbahnen“, die 1994 durch eine Arbeitsgruppe des BMVBW erarbeitet wurden und heute Bestandteil des DIN-Fachberichts 103 und der EN 1993-2 ‚Stahlbrücken‘ sind, sichern durch gleichbleibende definierte Ausführungsqualität eine ausreichende Ermüdungssicherheit der orthotropen Platten. Ein rechnerischer Ermüdungsnachweis kann hierdurch bei Straßenbrücken, im Gegensatz zu Eisenbahnbrücken, entfallen.

Diese Empfehlungen, die auf langjährigen Erfahrungen basieren, regeln z.B. das Standardverfahren für die Gestaltung und Herstellung des Längsrippenstoßes, s. Bild 10.

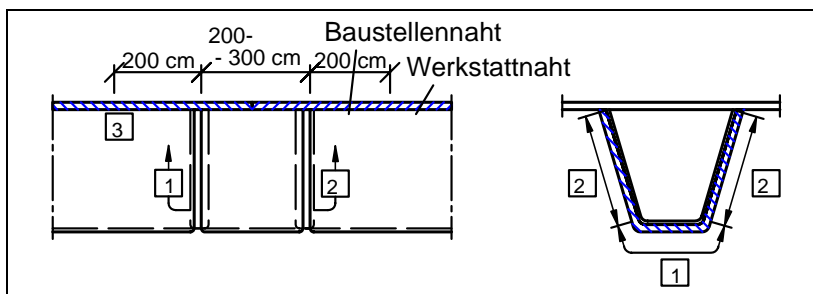


Bild 10: Zusammenbau- und Schweißfolge beim Längsrippenstoß

2. Bemessung, Trag- und Verformungsverhalten

Die Bemessung und Berechnung der orthotropen Fahrbahnplatte erfolgt durch Zerlegung des Gesamtsystems in einzelne Subsysteme, s. Bild 11, die den Kräfteweg von den Reifenlasten des Verkehrs bis in die Auflagerkräfte der Brücke stufenweise beachten.

| System | Berechnung |
|--|---|
| <p>Gesamtsystem</p> <p>Subsystem S1</p> <p>Subsystem S2</p> <p>Subsystem S3</p> <p>Subsystem S4</p> | <ul style="list-style-type: none"> - Das System S1 besteht aus dem verformbaren Deckblech zusammen mit den verformbaren Längsrippen- und Querträgerstegen, wobei Längsrippen- und Querträgerdurchbiegungen behindert sind. Aus den Radlasten ergeben sich Plattenverformungen und Plattenspannungen der Bleche, die bei Tragfähigkeitsnachweisen üblicherweise nicht betrachtet werden, da sie durch Mindestanforderungen an Abmessungen und Blechdicken in Grenzen gehalten werden. Für ermüdungsgerechtes Konstruieren und Fertigen ist dieses System von besonderer Bedeutung, da es den Verkehrslasten unmittelbar ausgesetzt ist. - Das System S2 besteht aus einer Platte aus Deckblech und Längsrippen verformbar zwischen den starr gestützt gedachten Querträgern, evtl. Längsträgern und den Hauptträgern. Die Platte ist eine durchlaufende orthotrope Platte mit der Längsrippensteifigkeit in der Längsrichtung und der Deckblechsteifigkeit in der Querrichtung. - Das System S3 stellt einen Trägerrost aus den Längsrippen, evtl. Längsträgern (z.B. Randträgern) und den Querträgern mit starrer Stützung an die Hauptträgerstegbleche dar - Das System S4 ist schließlich das Hauptträgersystem, wobei die Längselemente der orthotropen Fahrbahnplatte in den mittragenden Breiten der Obergurte enthalten sind. |

Bild 11: Schrittweise Berechnung der orthotropen Fahrbahnplatte durch Subsysteme

Im Allgemeinen sind die Tragfähigkeitsreserven der Subsysteme S1 und S2 aufgrund der möglichen Membrantragwirkung so groß, Bild 12, dass nicht nach der Tragfähigkeit, sondern nach der Dauerhaftigkeit bemessen wird. Für diese gibt es jedoch wegen der schwierig zu erfassenden und stark streuenden Steifigkeiten und Festigkeiten keine zuverlässigen rechnerischen Ermüdungsnachweise, so dass statt solcher Nachweise konstruktive Mindestanforderungen verlangt werden, die in Konstruktionsempfehlungen niedergelegt sind.

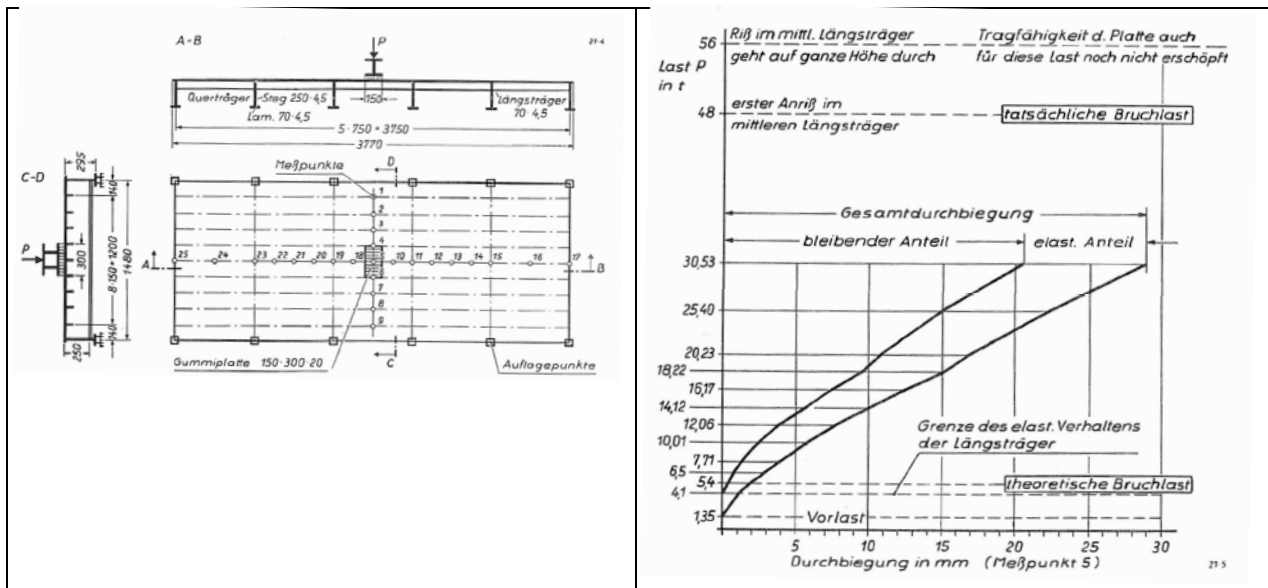


Bild 12: Last-Verformungs-Kurven bei der Belastung der Subsysteme S1 und S2, die hohe plastische Tragreserven zeigen /9/

Für die Subsysteme S3 und S4 werden im Allgemeinen elastische Nachweise verlangt, und zwar sowohl für die Tragfähigkeit als auch für die Dauerhaftigkeit, wobei bei Tragfähigkeitsnachweisen in der Regel mit Nennspannungen gearbeitet werden kann, da Spannungsspitzen als „plastisch abbaubar“ betrachtet werden. Bei Dauerhaftigkeitsnachweisen ist eine realistischere Betrachtungsweise der Ermüdungsbeanspruchung mit Nebenspannungen und den Kerbeffekten notwendig, wenn diese nicht schon in dem für die Ermüdungsfestigkeit herangezogenen Detail (Kerbfall) enthalten sind /10/, /11/.

In der Regel sind in Deutschland die Lastannahmen für den Tragfähigkeitsnachweis von Stahlbrücken mit orthotroper Fahrbahnplatte seit Jahrzehnten gegenüber den Verkehrsentwicklungen derart auf der sicheren Seite, dass keine Veranlassung zur Instandsetzung wegen mangelnder Tragfähigkeit besteht (Ausnahmen sind gelegentlich zu gering bemessene Beulfelder nach alten Beulvorschriften, bei denen knickstabähnliches Verhalten der Beulfelder nicht beachtet wurde). Die wesentlichen Notwendigkeiten für die Instandsetzung rühren aus Dauerhaftigkeitsproblemen her. Diese können sein:

- Schäden, die sich im Laufe der Zeit aus nicht ausreichend konstruierten oder nicht mit ausreichender Qualität gefertigten Platten infolge wiederholter Lastwirkungen eingestellt haben und deren weitere Progression zu Tragsicherheitsproblemen führen könnte. Dort werden Instandsetzungsmaßnahmen und Reparaturen verlangt.
- Schäden, die aufgrund der Erwartung zukünftiger Verkehrsentwicklungen in Zukunft befürchtet werden können und zu deren Vermeidung Vorsorgeaufwendungen in Form von Instandsetzungen zur Erreichung ausreichender Dauerhaftigkeit zweckmäßig sind.

Für die Dauerhaftigkeit und eine ausreichende Ermüdungssicherheit ist die Betrachtung des lokalen Verformungsverhaltens der orthotropen Fahrbahnplatten von besonderer Bedeutung:

Ein Beispiel dafür sind die Spannungsverläufe aus Biegemomenten im Querträgersteg (1) oder aus Längsrippenmomenten über dem Querträgerstegblech (2) infolge eines rollendenden Rades über einer Längsrippe, s. Bild 13.

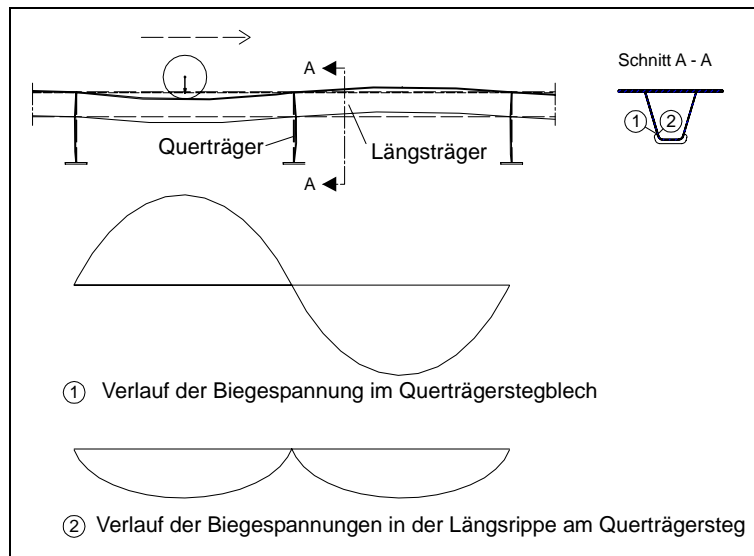


Bild 13: Verlauf der Plattenbiegespannung in dem Verbindungsbereich Querträger- Längsrippe bei einer Überfahrt eines Rades /1/

Ein anderes Beispiel sind die Biegespannungen in den Längsrippenstegen, die entweder durch aufgezwungene Scheibenverformungen des Querträgerstegs (s. Bild 14a) oder durch Behinderung der Längsrippenverformungen durch das Querträgerstegblech (s. Bild 14b) auftreten.

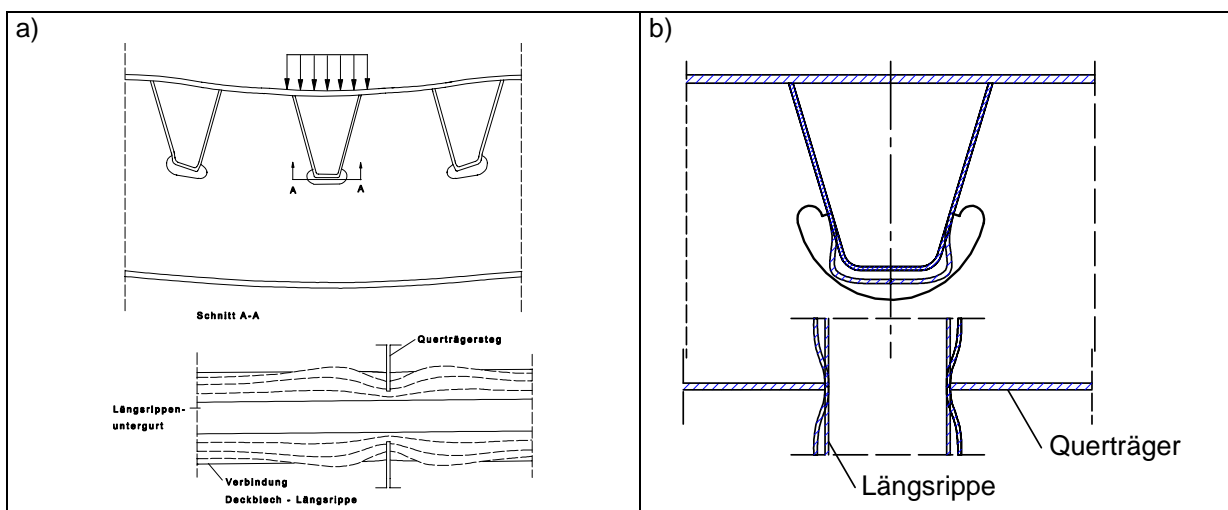


Bild 14: Zwangsverformungen der Längsrippegestegbleche /1/

Bild 15 zeigt verschiedene Ausbildungen der Längsrippendurchführung durch das Querträgerstegblech, die unterschiedliche Reaktionen entsprechend Bild 13 und Bild 14 auslösen.

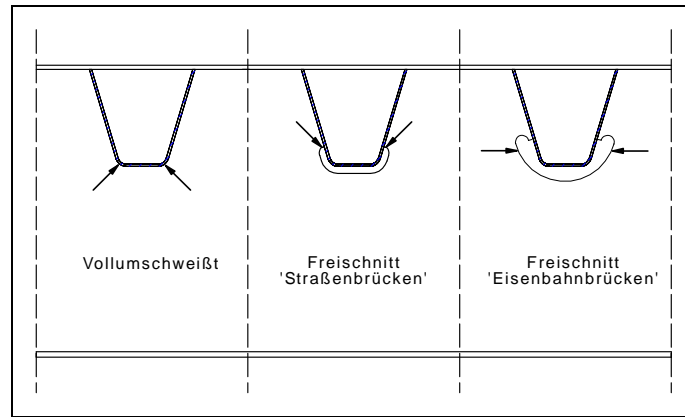


Bild 15: Kritische Detailstellen (Pfeile) bei verschiedenen Ausbildungen der Durchführung der Längsrippe durch den Querträgersteg

3. Erfahrungen aus Instandsetzungsmaßnahmen

Der Kräfteweg von den Radlasten auf der orthotropen Platte bis in die Lager der Hauptträger bestimmt auch die Ermüdungsgefährdung der Bauteile. Diese ist unter den Radlasten am größten und an den Lagern am geringsten. Daher kann ähnlich wie bei der Substrukturierung der Stahlbrücken mit orthotroper Fahrbahnplatten in Subsysteme S1 bis S4 für rechnerische Tragfähigkeitsnachweise ist auch bei der Betrachtung der Gefährdung der Dauerhaftigkeit eine Substrukturierung vorgenommen werden. Bild 16 zeigt die einzelnen Bereiche, und die Tabelle 1 liefert eine Liste von Gefährdungskategorien, die durch unterschiedlichen Abstand der betroffenen Konstruktionsteile zur einwirkenden Verkehrslast und durch verschiedene Wirkmechanismen und Instandsetzungsmöglichkeiten gekennzeichnet sind.

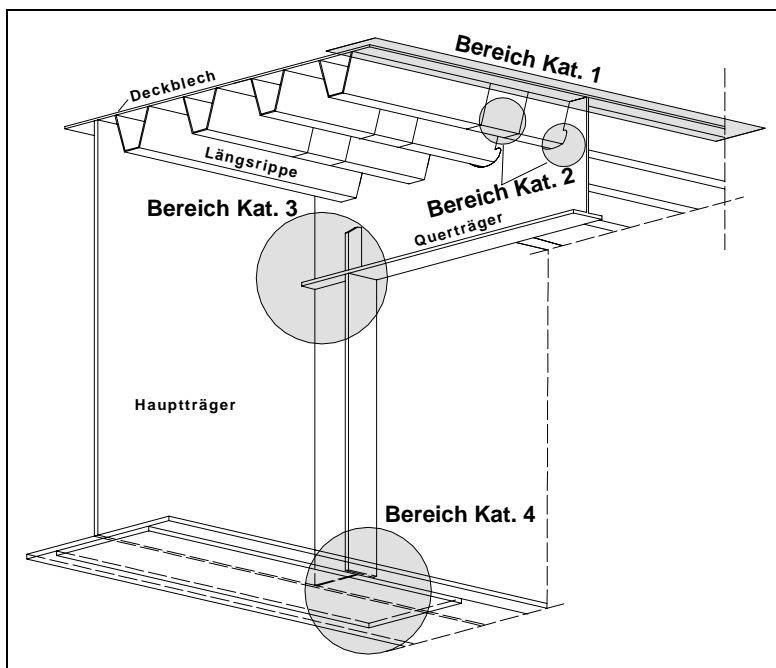
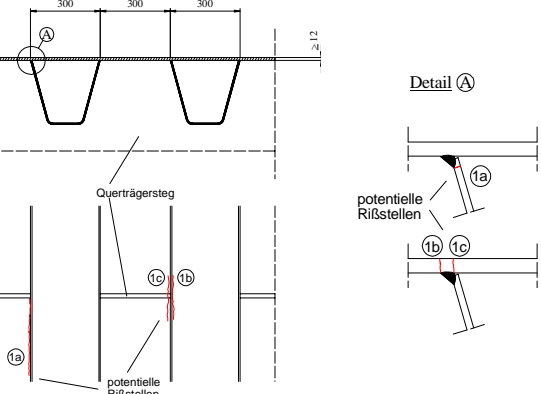
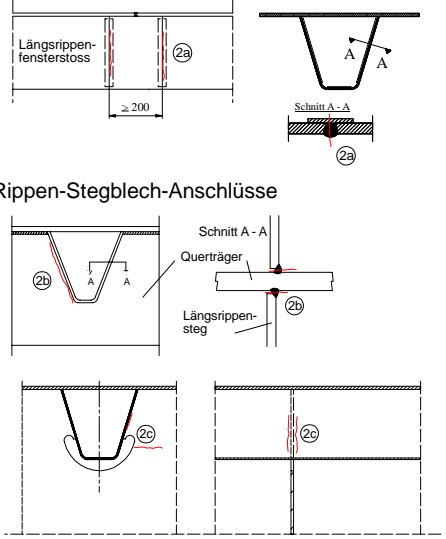
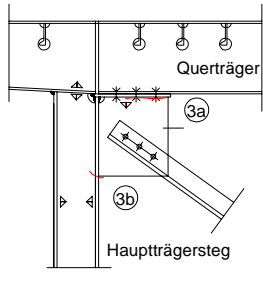
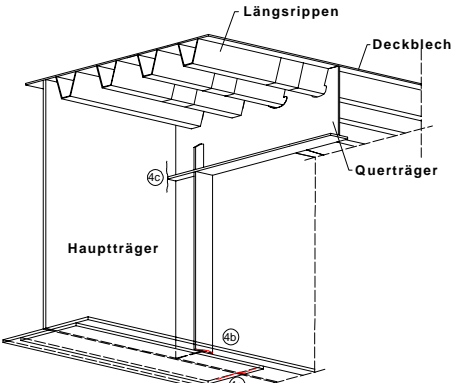


Bild 16: Gefährdungsbereiche

Tabelle 1: Gefährdungskategorien für Vorsorgemaßnahmen an Stahlbrücken mit orthotropen Fahrbahnplatten /1/

| Gefährdungs-Kategorie | Betroffen | Potentielle Rissstellen | Beispiele für aufgetretene Schäden |
|-----------------------|--|--|--|
| 1 | <p><u>Anschlüsse am Deckblech</u></p> <p>Rippen-Deckblech-Anschlüsse</p> |  | <p>1a bei Sektglasprofilen</p> <p>1b, 1c Moerdijk-Brücke</p> |
| 2 | <p><u>Anschlüsse im Längssystem</u></p> <p>Rippen-Rippen-Anschlüsse</p> <p>Rippen-Stegblech-Anschlüsse</p> |  | <p>2a Brücke mit Längsrippenstoß in Feldmitte</p> <p>2b Haseltalbrücke</p> <p>2c Labor Uni Karlsruhe</p> |
| 3 | <p><u>Anschlüsse im Quersystem</u></p> <p>Querträger-Querrahmen-Anschlüsse</p> <p>Querträger-Anschlüsse</p> |  | <p>3 Sinzig-Brücke</p> |
| 4 | <p><u>Anschlüsse im Hauptsystem</u></p> <p>Längsträger</p> <p>Hauptträgersteg</p> <p>Hauptträger-untergurt</p> |  | <p>4 Rechnerisch zu erwarten</p> |

Die (höchste) Kategorie 1-Gefährdung besteht für das Deckblech in der Schwerverkehrsspur unter der Ermüdungswirkung der Reifenlasten. Die Gefährdungen 1a, b, c haben ihre Ursache in wechselnden Biegewirkungen (Krümmungsveränderungen) der Bleche in Verbindung mit scharfen Kerben. Diese entstehen aus der Wirkung der Subsysteme S1 und S2. In den Niederlanden haben sich Deckblechrisse der Kategorie 1b und 1c vor allem an der Einspannung der Deckblechfelder an den Querträgerstegen gezeigt, Bild 17, /12/; in Deutschland sind an permanenten Brücken bislang keine Deckblechschäden 1b und 1c aufgetreten, wohl aber vereinzelt Schäden 1a an Stellen verminderter Schweißqualität, s. Bild 18. Bei zerlegbaren Brücken mit geringerer Deckblechdicke und dünneren Fahrbahnbelag sind dagegen Schäden wie in den Niederlanden bekannt.

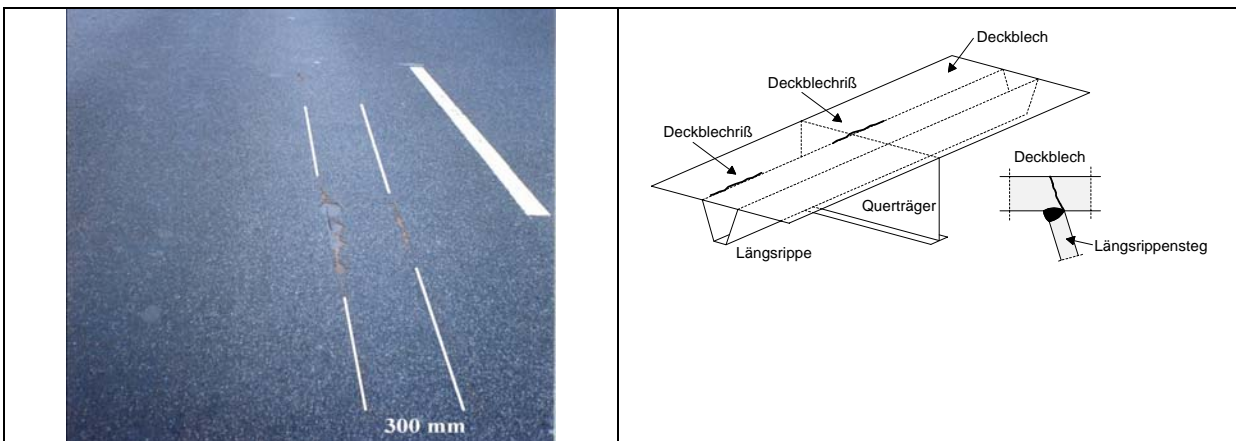


Bild 17: Deckblechrisse über den Längsrippenstegen an einer beweglichen Brücke in den Niederlanden /2/

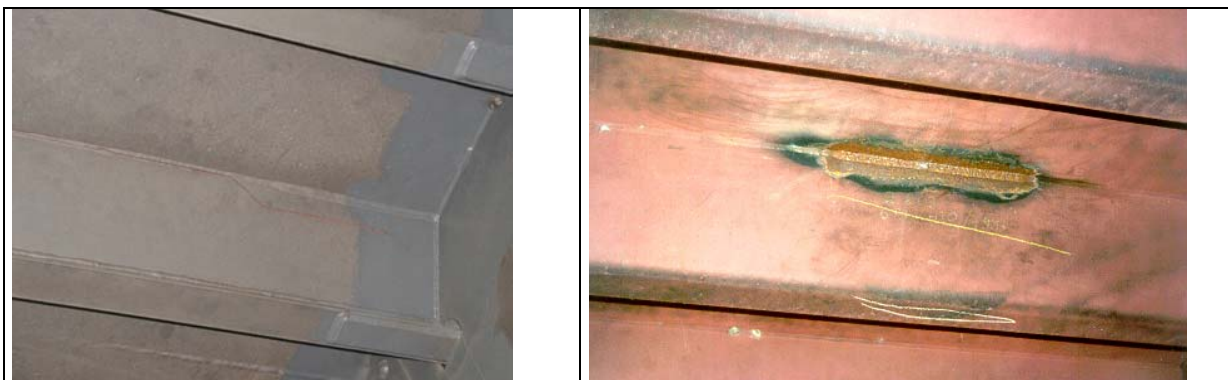


Bild 18: Risse in der Verbindungsnaht zwischen Deckblech und Längsrippe

links: Sektelchprofil

rechts: Trapezprofil - instandgesetzte Naht zur späteren Prüfung noch ohne Beschichtung

Der Ursprung der Deckblechrisse in den Niederlanden lag über den Längsrippenstegen am Kreuzungspunkt Längsrippen-Querträgersteg (Blecheinspannung) und im Rippenfeld /2/.

Durch die Beschichtung des Deckblechs verdeckte Risse im Deckblech sind bisher in Deutschland nicht beobachtet worden.

Bei Schäden der Kategorie 1a besteht ebenfalls ein Zusammenhang zwischen dem Schadensort und der Verkehrsbeanspruchung, d.h. zumeist findet sich eine Konzentration von solchen Schäden im Bereich der Schwerlastverkehrsspur, Tabelle 2 stellt zwei Beispiele vor.

Tabelle 2: Risse in der Verbindungsnaht zwischen Längsrippe und Deckblech

| | |
|--|--|
| <p>Brückenklasse 60 - ca. 3000 Schwerfahrzeuge/Tag</p> | <p>Schäden: Risse zwischen Sektkelchprofil und dem Deckblech in der Schwerverkehrsspur</p> <p>Ursache: Unzureichende Nahtqualität in dem Übergangsbereich zwischen automatisch hergestellter Schweißnaht und dem Beginn der Handschweißung</p> |
| <p>Brückenklasse 45 - ca. 2500 Schwerfahrzeuge/Tag</p> | <p>Schäden: Risse in der Verbindungsnaht zwischen Trapezprofil und Deckblech im Bereich der Schwerverkehrsspur</p> <p>Ursache: Unzureichende Nahtqualität, Dünnelag (ca. 10 mm), höhere Brückenlasten (Brückenklasse 60)</p> |

Allgemein wird davon ausgegangen, dass die beobachteten Risschäden ermüdungsbedingt sind.

Bei einigen Brücken konnte festgestellt werden, dass die Anzahl von entdeckten Nahtrissen der Kategorie 2b bei der Bauweise mit eingepassten Längsrippen oder eingepassten Stegblechen der Sektkelchprofile unmittelbar nach dem Austausch des Fahrbahnbelags ansteigt. Das lässt darauf schließen, dass die hohen Temperaturzwängungen, die bei einer Belagserneuerung auftreten, mit verursachend sind (Gewaltbrüche).

Bild 19 zeigt einige weitere Schäden aus der Kategorie 2.





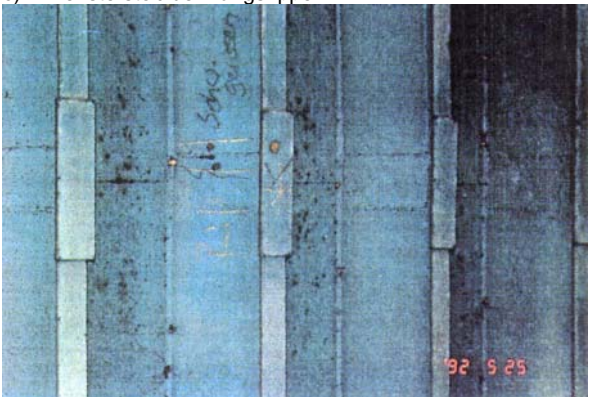

| Bauweise | Schäden |
|--|---|
| <p>a) offene Steife</p>  | <p>Riss im Querträgersteg</p>  |
| <p>b) angepasste Längsrippe</p>  | <p>Riss in der Schweißnaht zwischen Längsrippe und Querträgersteg</p>  |
| <p>c) Fensterstoß der Längsrippe</p>  | <p>Riss in der Schweißnaht zwischen den Längsrippen</p>  |

Bild 19: Bauweisenbedingte Schäden der Kategorie 2 /2/

Bei den Schäden der Kategorie 2 besteht oftmals kein Zusammenhang zwischen dem Ort des Schadens innerhalb der Verkehrsfläche und den Fahrspuren auf der Brücke, d.h. z.B. keine Konzentration in den Schwerverkehrsspuren.

Bei den Schäden der Kategorie 2 besteht oftmals kein Zusammenhang zwischen dem Ort des Schadens innerhalb der Verkehrsfläche und den Fahrspuren auf der Brücke, d.h. z.B. keine Konzentration in den Schwerverkehrsspuren.

4. Planungshilfen für Instandsetzungsmaßnahmen

Für eine erfolgreiche Instandsetzung von Schäden orthotropen Fahrbahnplatten ist die Ermittlung der Ursache und besondere Sachkenntnis zu der Ermüdungswirkung von Eingriffen in die vorhandene Konstruktion erforderlich.

Dies hat die Arbeitsgruppe 5 ‚Schweißen im Bauwesen‘ im Deutschen Verband für Schweißtechnik und verwandte Verfahren e. V bewogen, ein Merkblatt zur Instandsetzung und Verstärkung orthotroper Fahrbahnplatten /13/ zu erarbeiten und zu veröffentlichen.

Bild 20 stellt das Inhaltsverzeichnis dar, Bild 21 zeigt den Ablauf bei der Erstellung eines Instandsetzungs- und Verstärkungskonzeptes.

| Inhalt: | |
|---------|--|
| 1 | Geltungsbereich |
| 2 | Verweise auf Normen, Vorschriften und Richtlinien |
| 3 | Grundsätzliches |
| 3.1 | Allgemeines |
| 3.2 | Definitionen |
| 3.3 | Schadensaufnahme und Sofortmaßnahmen |
| 3.4 | Objektbezogene Schadensanalyse |
| 4 | Planung der Instandsetzung |
| 4.1 | Voruntersuchung der Werkstoffe |
| 4.2 | Instandsetzungs- und Verstärkungskonzept |
| 4.3 | Anforderungen an das Planungsbüro |
| 4.4 | Berücksichtigung des Verkehrs |
| 5 | Ausführung |
| 5.1 | Anforderungen an die ausführenden Fachfirmen |
| 5.2 | Ausführungsplanung |
| 5.2.1 | Montageanweisung |
| 5.2.2 | Schweißplan bzw. Schweißfolgeplan |
| 5.2.3 | Korrosionsschutzplan |
| 5.2.4 | Prüfplan |
| 5.3 | Detailausführung |
| 5.3.1 | Deckblechriefen |
| 5.3.2 | Verbindung der Längsrippe mit dem Deckblech |
| 5.3.3 | Verbindung der Längsrippe mit dem Querträger |
| 5.3.4 | Längsrippenstoss |
| 5.3.5 | Verbindung Deckblech mit dem Querträger |
| 5.3.6 | Abbohren von Rissen |
| 5.3.7 | Auswirkungen auf Korrosionsschutz und Asphaltbelägen |
| 6 | Qualitätssicherung |
| 6.1 | Eigenüberwachung |
| 6.2 | Fremdüberwachung |
| 6.3 | Dokumentation der Qualitätssicherung |
| 6.3.1 | Werkstoffe |
| 6.3.2 | Zulassungen |
| 6.3.3 | Personal |
| 6.3.4 | Prüfberichte |
| 7 | Schrifttum |

Bild 20: Inhaltsverzeichnis DVS-Merkblatt ‚Orthotrope Fahrbahnplatte‘ /13/

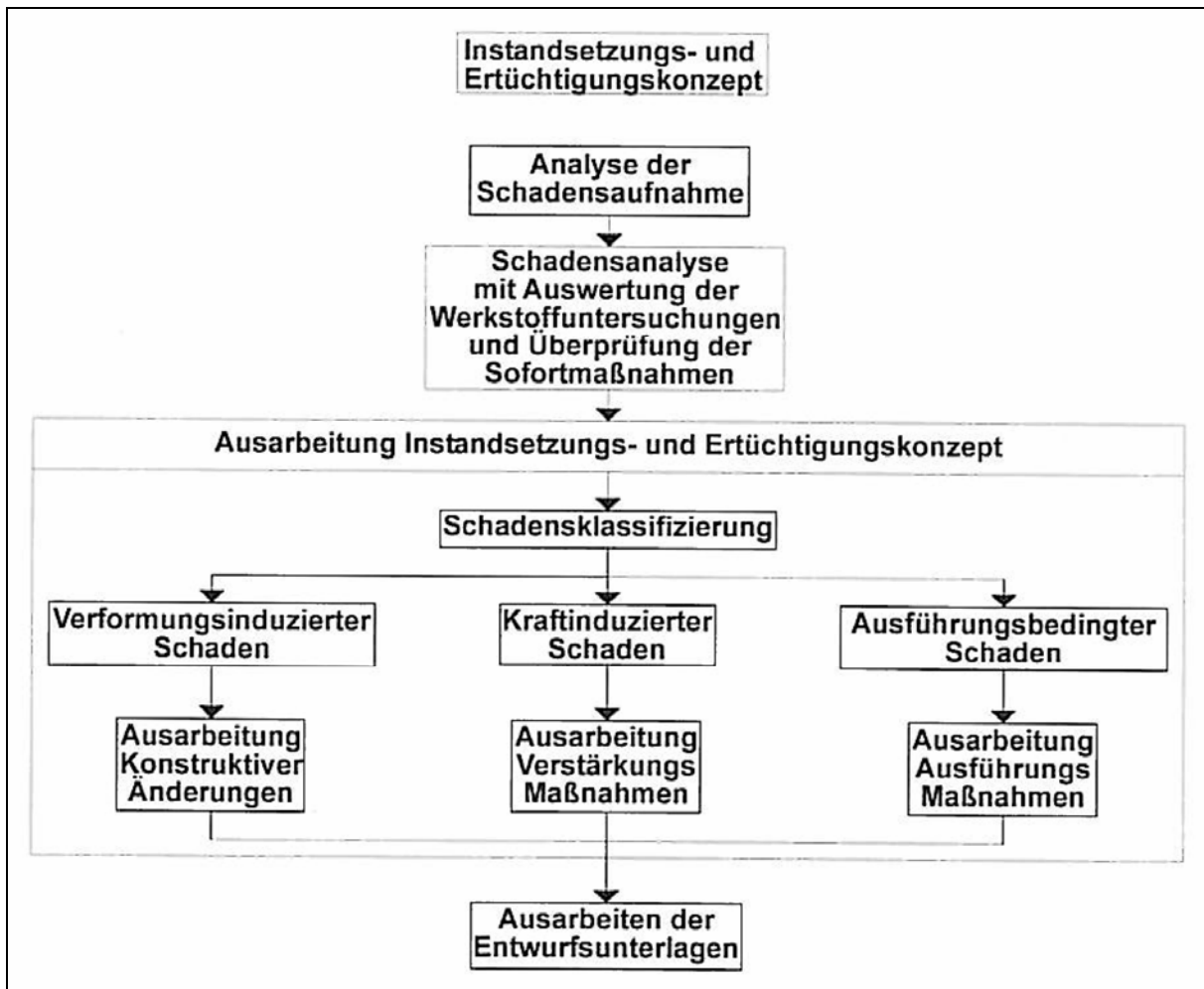


Bild 21: Ablauf bei der Erstellung eines Instandsetzungs- und Verstärkungskonzeptes /13/

Dieses Merkblatt gibt für eine Reihe von Detailpunkten Hilfestellungen zur Frage der Art und Ursachen der Schäden und Hinweise für eine erfolgreiche Instandsetzung. Bild 22 zeigt daraus ein Beispiel für die Kategorisierung von Rissen. Bild 23 zeigt eine Anweisung für die Erneuerung von Halsnähten zwischen Rippen und Deckblech, und Bild 24 geht auf die Schweißnahtreihenfolge ein.

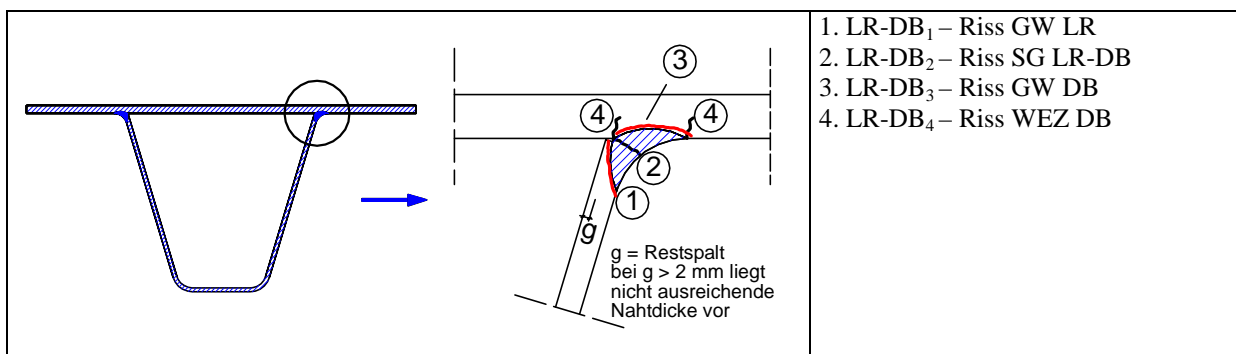


Bild 22: Risserscheinungen bei der Verbindung Längsrippe – Deckblech /13/

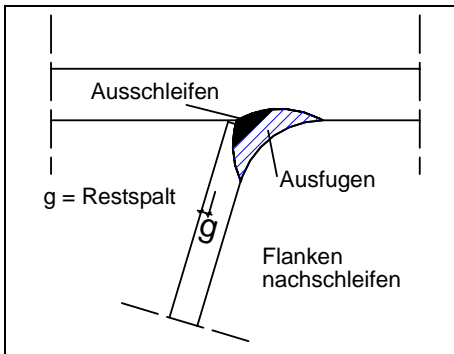


Bild 23: Ausarbeitung fehlerhafter Schweißbereiche /13/

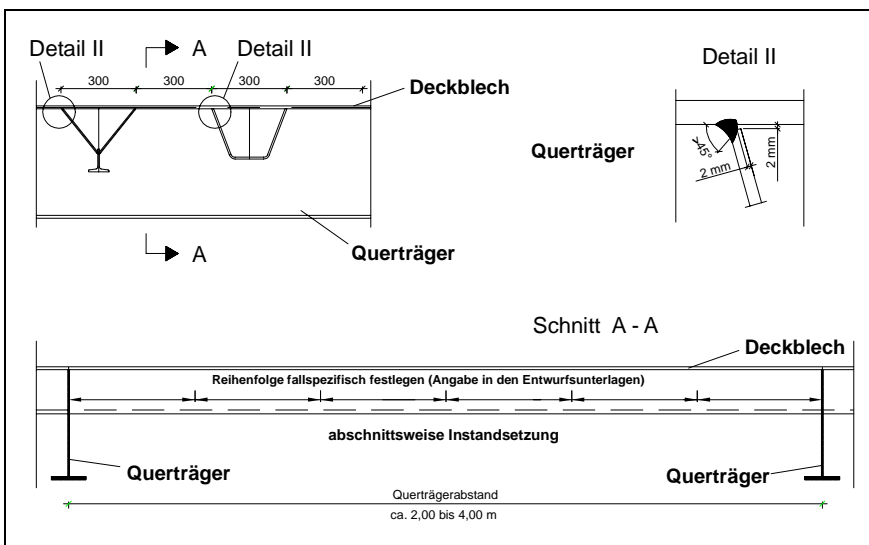


Bild 24: Vorgehen bei der Instandsetzung/Verstärkung der Verbindungsnaht zwischen Längsrippe und Deckblech /13/

Bild 25 gibt ein Beispiel für Prüfanweisungen.

- VT nach DIN EN 970, erforderlichenfalls MT nach DIN EN 1290 während der Durchführung,
- MT 8 h nach der Durchführung der Arbeiten,
- MT 3 Monate nach Abschluss der Arbeiten,
- Aufbringen des Korrosionsschutzes,
- Inspektionen im Rahmen der regulären Brückeninspektionsintervalle nach DIN 1076.

Bild 25: Begeleitende Inspektionen /13/

Weitere Planungshilfen wurden in einem BASt Forschungsvorhaben erarbeitet, das sich mit der Untersuchung zur nachhaltigen Instandsetzung von orthotropen Fahrbahnplatten von Stahlbrücken unter Berücksichtigung des Belagssystems beschäftigt /2/.

5. Prophylaktische Verstärkungsmaßnahmen und Nachhaltigkeit

Bei der Planung der Instandsetzung von vorhandenen Schäden in den Verbindungsnahten zwischen Längsrippen und Deckblech und bei Betrachtung der weiteren Nutzungsdauer bisher ungeschädigter Bereiche stellt sich die Frage, ob eine Schweißnahtqualität entsprechend den Empfehlungen für die bauliche Durchbildung von Stahlfahrbahnen nach EN 1993-2 für die zukünftige Verkehrsentwicklung ausreichend dauerhaft ist.

Dazu interessiert die zukünftige Entwicklung im Bereich der Fahrzeuge und der Reifen (s. Bild 26).

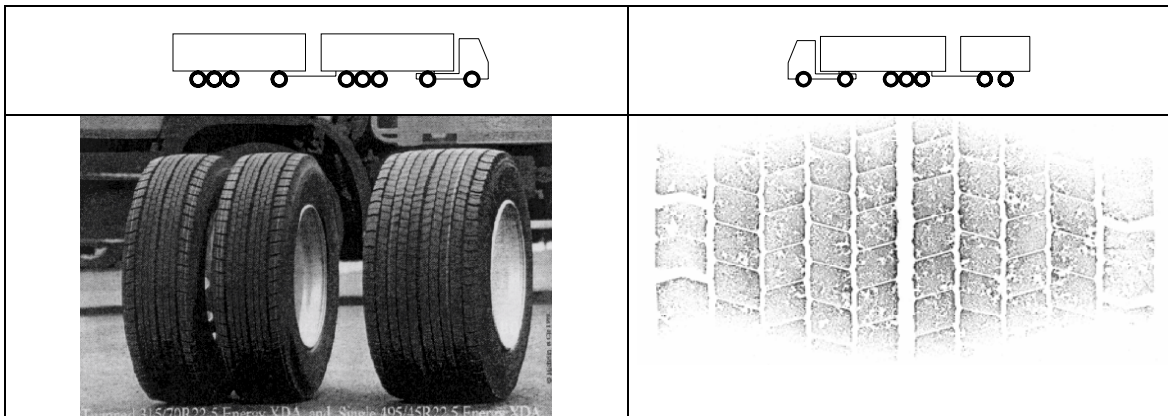


Bild 26: Mögliche neue Fahrzeugkonfigurationen und "Footprints" für einen Wide Base Reifen vom Typ 495/45 R22.5

Die Erfahrungen aus der erfolgreichen Instandsetzung von Halsnahtschäden zwischen Längsrippen und Deckblech in Deutschland ist:

- in der Regel treten bisher in den instandgesetzten Bereichen keine neuen Risse auf,
- eine Instandsetzung unter Verkehr ist möglich, wobei in der Regel der lokale Bereich vom Verkehr freigehalten wird,

jedoch

- ist es immer denkbar, dass sich im Laufe der Zeit weitere neue Risse außerhalb der bereits instandgesetzten Bereiche zeigen.

Die Unbekannte für die zukünftige Entwicklung ist das Verhalten des Deckblechs und die Frage, ob die in den Niederlanden beobachteten Deckblechschäden nicht auch in Deutschland mit Zeitverzögerung wegen der gutmütigeren Bauweise auftreten können.

Zur Beseitigung solcher Gefährdungen ist eine nachhaltige Instandsetzung der orthotropen Stahlfahrbahnplatte einschließlich der Verbindungsnahten nur dann gegeben, wenn das Beanspruchungsniveau unter das Dauerfestigkeitsniveau reduziert wird.

Dazu kann die Verbundwirkung zwischen Stahlfahrbahnblech und Fahrbahnbelag herangezogen werden und eine verbesserte Verbundwirkung zur Entlastung des Deckblechs und seiner Anschlüsse zu den Rippen angestrebt werden.

Ermüdungsberechnungen nach EN 1993 zeigen, dass eine ausreichende Lebensdauer der Schweißverbindung Längsrippe-Deckblech bei Wirkung eines ausreichenden Verbundes zwischen Belag und Stahlstruktur zu erreichen ist, s. Bild 27.

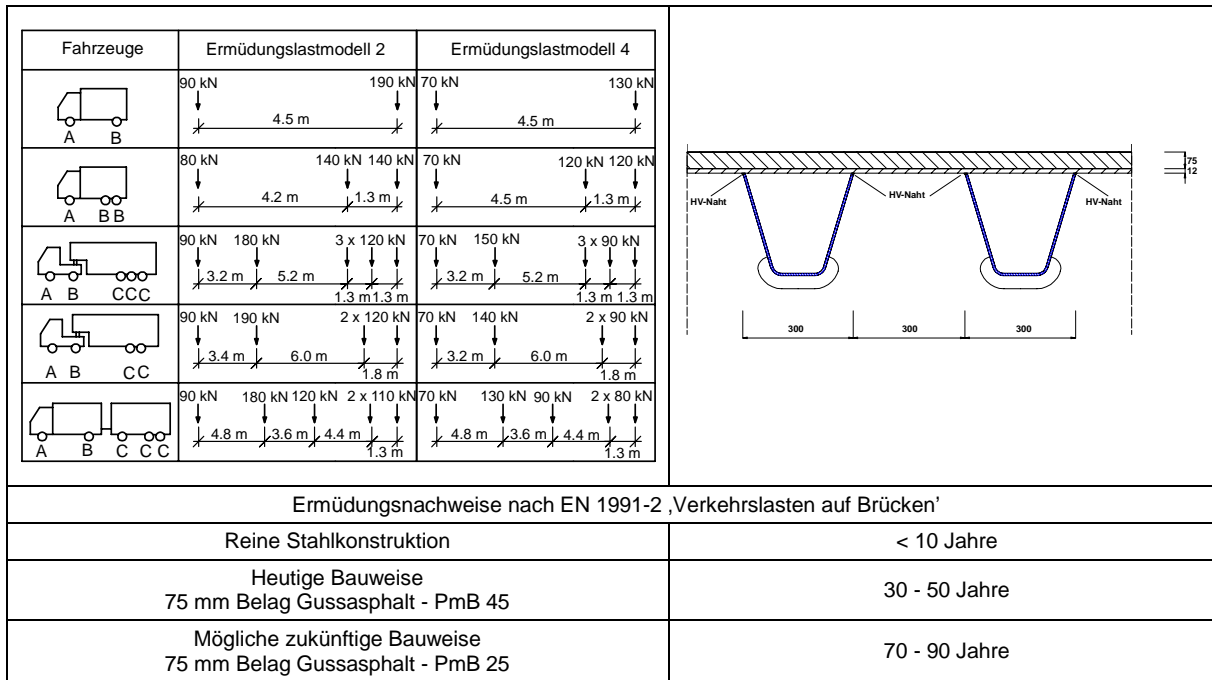


Bild 27: Nachweis der Ermüdungssicherheit nach EN 1991-2 und EN 1993-2 für die Verbindungsnaht zwischen Längsrippe und Deckblech

Eine weitere Verstärkung der Verbundwirkung zwischen dem Asphaltbelag und der Stahlkonstruktion ist ein Hauptansatzpunkt für die Entwicklung einer nachhaltigen Verstärkung der orthotropen Fahrbahnplatte.

Um die Verbundeigenschaften zwischen dem Asphaltbelag und dem Stahlblech weiter zu steigern, werden verschiedene Lösungen zzt. untersucht:

- Einsatz von PmB25
 Durch die Reduktion des Bindemittelgehaltes wird der Asphaltbelag steifer, somit erhöht sich die Verbundwirkung. Untersuchungen belegen die Einsetzbarkeit auch bei tiefen Temperaturen, so dass unter normalen Einsatzbedingungen keine Rissbildung zu erwarten ist.
- Offenporiger, mit Epoxydharz vergossener Asphalt
 Erste probeweise Anwendung an Bushaltestellen belegen eine hohe Standfestigkeit dieser Beläge auch bei hohen Sommertemperaturen. Im Rahmen des BASt Forschungsvorhabens /2/ wurden hierzu erste Versuche durchgeführt, s. Bild 28.

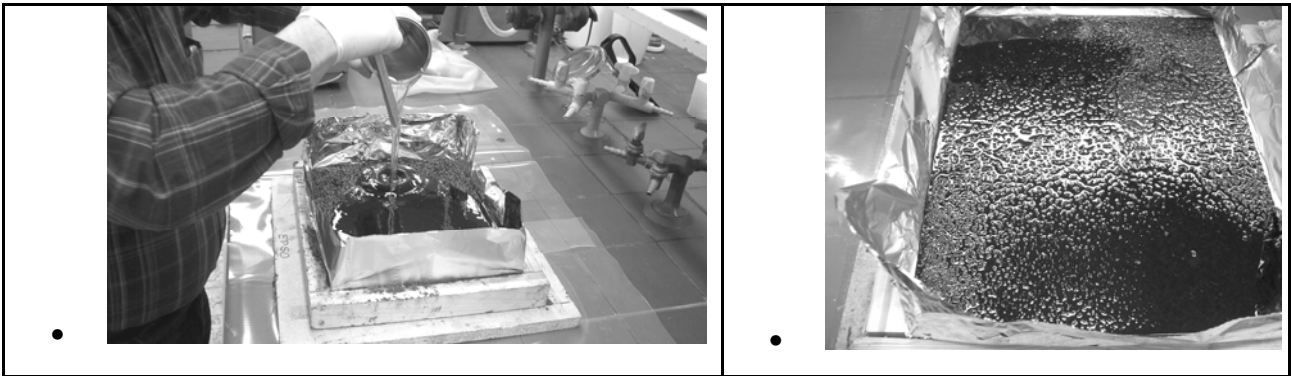
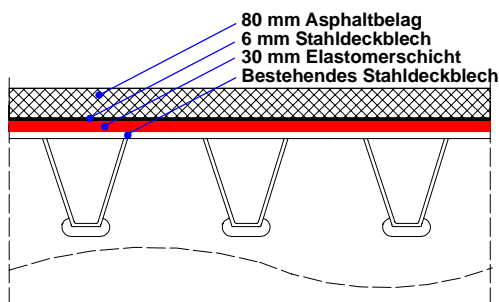


Bild 28: Herstellung eines Probekörpers: Verfüllung des hohlraumreichen Asphaltträgergerüsts mit flexibilisiertem Epoxidharz /2/

Eine weitere Entlastungsmöglichkeit des Deckblechs besteht darin, dessen Steifigkeit durch eine aufgesetzte Sandwichkonstruktion zu vergrößern.

Durch das kanadische Ingenieurbüro „Intelligent Engineering (IE)“ wurde ein Sandwichsystem bestehend aus zwei Stahlblechen und dazwischenliegendem Elastomerkern entwickelt. Das „Sandwich Plate System“ (SPS) bewirkt durch die Versteifung des Deckblechs eine bessere Lastverteilung und Verbundwirkung bei der orthotropen Fahrbahnplatte. Bild 29 zeigt die prinzipielle Anwendung bei einer orthotropen Fahrbahnplatte.



Materialeigenschaften

| | | |
|-------------------------|--|--|
| Dichte: | $\delta = 1150 \text{ kg/m}^3$ | (nach Injektion) |
| E-Modul: | $E = 874 \text{ N/mm}^2$ | (Zug - 23 °C) DIN EN ISO 527 |
| | $E = 765 \text{ N/mm}^2$ | (Druck - 23 °C) DIN EN ISO 604 |
| | $G = 285 \text{ N/mm}^2$ | (23 °C) DIN EN ISO 6721-2 |
| Schubmodul: | | |
| Druckfestigkeit: | $f_c = 18,0 \text{ N/mm}^2$ | ($\epsilon = 0,2 \%$) |
| | $f_{c,u} = 32,0 \text{ N/mm}^2$ | ($\epsilon = 10,0 \%$) DIN EN ISO 604 (23 °C) |
| Zugfestigkeit: | $f_t = 16,1 \text{ N/mm}^2$ | ($\epsilon = 0,2 \%$ 23 °C) |
| | $f_{t,u} = 33,9 \text{ N/mm}^2$ | ($\epsilon_{t,u} = 32,0 \%$ 23 °C) DIN EN ISO 527 |
| Schubfestigkeit: | $f_t = 18,0 \text{ N/mm}^2$ | (23 °C) |
| | $0,5 f_{t,u} = 17,0 \text{ N/mm}^2 \leq f_T \leq 1/\sqrt{3} f_{t,u} = 19,6 \text{ N/mm}^2$ | |

Bild 29: Sandwich Plate System

In den Niederlanden geht man einen anderen Weg. Dort wird zzt. die Verstärkung des Deckbleches mit einer Schicht von 50 mm aus hochfestem, mit Stahlfasern und Armierung bewehrtem Beton /4/ an verschiedenen Objekten durchgeführt.

Bild 30 zeigt eine Prinzipskizze und den Randbereich einer zzt. laufenden Verstärkungsmaßnahme bei der Moerdijkbrücke in der Nähe von Rotterdam.

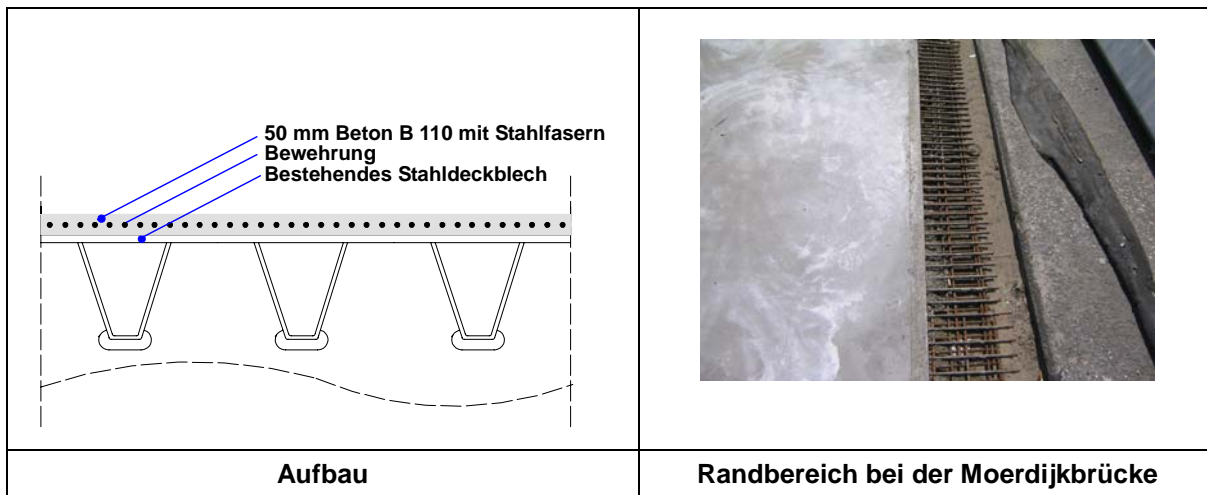


Bild 30: Hochfester mit Stahlfasern und Armierung bewehrtem Beton als direkt befahrener Fahrbelag

Im Rahmen eines Forschungsvorhabens, das zzt. bei der BAST /5/ in Bearbeitung ist, wird die Verstärkung des Deckblechs durch ein aufgeklebtes Blech untersucht, wobei sowohl die geeigneten Klebstoffe, als auch die Vorgehensweise und Wirksamkeit untersucht werden. Bild 31 zeigt das Prinzip und erste Probeversuche.

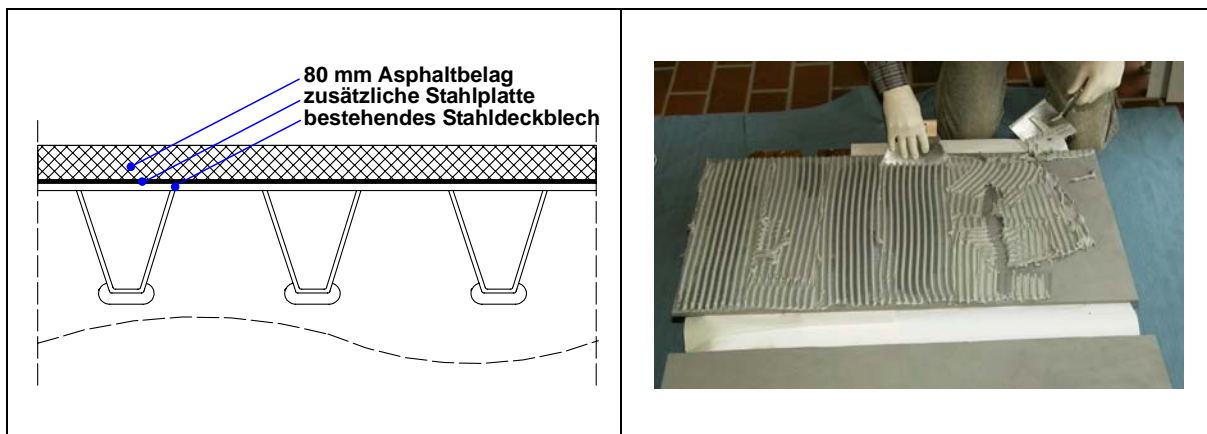


Bild 31: Instandsetzung von aufgeklebten Stahlblechen (Prinzip und Probeversuch)

6. Schlussfolgerungen

In Deutschland bestehen seit 60 Jahren Erfahrungen mit der Dauerhaftigkeit orthotroper Fahrbelagplatten. In verschiedenen Weiterentwicklungen wurde versucht, deren Wirtschaftlichkeit zu verbessern, nicht immer zum Vorteil ihrer Dauerhaftigkeit. Heute existiert eine Standardlösung hinsichtlich Detailausbildung und Fertigungsqualität, die nunmehr seit fast 40 Jahren erfolgreich im Einsatz ist und die in sie gesetzten Dauerhaftigkeitserwartungen erfüllt.

Das Problem sind Schäden an früheren konstruktiven Lösungen, die vor der Standardausführung eingesetzt wurden, und die Frage der Dauerhaftigkeit der Standardlösung bei dem zu erwartenden zukünftigen größeren Verkehrsaufkommen.

Hier existieren Reparaturhilfen für bestimmte empfindliche Bauformen, aber auch Forschungs- und Entwicklungsbemühungen um durch geeignete Steifigkeitsvergrößerungen des Fahrbahnblechs der orthotropen Fahrbahnplatte deren Beanspruchung so zu senken, dass sie unter der Dauerfestigkeitsschwelle liegt. Zu den Bemühungen gehören, die Verstärkung der Verbundwirkung durch verbesserte Belagseinstellungen, die Anwendung von Deckblechverstärkungen durch Sandwichkonstruktionen, die Verwendung von Belägen aus hochfestem faserverstärktem Beton und Blechaufdickungen durch Kleben.

Literatur

- [1] Paschen, M.: Untersuchungen zur Verbesserung der Dauerhaftigkeit orthotroper Fahrbahnplatten von Straßenbrücken (in Vorbereitung)
- [2] Untersuchung zur nachhaltigen Instandsetzung von orthotropen Fahrbahnplatten von Stahlbrücken unter Berücksichtigung des Belagssystems, 3. Zwischenbericht FE 15.405/2004/CRB, Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Durchführung: Bundesanstalt für Straßenwesen, Bearbeitung: Ing.-Büro Prof. Sedlacek & Partner, Aachen 2005
- [3] Sedlacek, G.; Paschen, M.; Geßler, A.; Wagener, J.: Gutachten zur Verwendung des Sandwich-Plattensystems SPS für die Verstärkung der Stahlfahrbahnplatten des D-Brückengerätes, Lehrstuhl für Stahlbau der RWTH Aachen in Zusammenarbeit mit dem Ing.-Büro Prof. Sedlacek & Partner, Aachen, März 2005
- [4] Boersma, P.D.; de Jong, F.B.P.: Techniques and solutions for rehabilitation of orthotropic steel bridge decks in the Netherlands, Ministry of Transport, Public Works and Water Management
- [5] Peters, N.; Friedrich, H.: Verstärkung des Deckblechs orthotroper Fahrbahnplatten durch Aufkleben von Stahlblechen - Computer Simulation -, Projekt 04 222 der Bundesanstalt für Straßenwesen, September 2004
- [6] Vortragspräsentation der Fa. Krupp Stahlbau Hannover in Krefeld vom 3.08.2005
- [7] Sedlacek, G.; Feldmann, M.; Paschen, M.; Geßler, A.: SPS-Applications in bridge design, Safety- and economy- aspects, PU Magazine, Vol. 2, No. 4, Oktober 2005
- [8] Patenschrift Nr. 847014, Dr. Cornelius/MAN, Straßenbrücke mit Flachblech, 1948
- [9] MAN-Forschungsheft Nr. 7, Die Stahlfahrbahn-Berechnung und Konstruktion, 1957
- [10] Sedlacek, G., Eisel, H., Hensen, W., Kühn, B., Paschen, M. „Leitfaden zum DIN-Fachbericht 103, Stahlbrücken“, Verlag Ernst & Sohn, 2003

- [11] Sedlacek, G. „Orthotropic Plate Bridge Decks, Constructional Steel Design“, An International Guide, Elsevier Applied Science, Page 227
- [12] F.B.P. de Jong „Renovation techniques for fatigue cracked orthotropic steel bridge decks“, Dissertation TU Delft, Januar 2007
- [13] DVS Merkblatt 1709 ‚Instandsetzung und Verstärkung orthotroper Fahrbahnplatten‘, Erarbeitet durch die AG 5 ‚Schweißen im Bauwesen‘, DVS- Deutscher Verband für Schweißtechnik und verwandte Verfahren e.V. Düsseldorf (Februar 2008)