

# Stahlbrücken

## Bestandsanalyse Erhaltung und Erweiterung



# Stahlbrücken

## Bestandsanalyse Erhaltung und Erweiterung

von

Heinz Friedrich  
Bert Quaas

Bundesanstalt für Straßenwesen  
Bergisch Gladbach, September 2017

The logo consists of the lowercase letters 'bast' in a bold, sans-serif font. The letters are filled with a grey stippled or dotted pattern. The logo is positioned at the bottom right of the page, partially overlapping a vertical dotted line that runs down the right margin.



## Kurzfassung · Abstract

Bei Stahlbrücken, die in den 1960er Jahren gebaut wurden, ist seit etwa 20 bis 25 Jahren eine stetige Zunahme von Schäden zu verzeichnen. Verursacht werden diese Schäden durch die geringe Ermüdungsfestigkeit einzelner Konstruktionsdetails in Kombination mit erhöhten Beanspruchungen durch den wachsenden Verkehr, insbesondere den Schwerverkehr.

Ziel der hier beschriebenen Untersuchung ist es, die bestehenden Stahlbrücken im Hinblick auf ihre Zukunftsfähigkeit zu klassifizieren und den Bedarf an Maßnahmen zur Erhaltung und Erweiterung für die kommenden Jahre überschlägig einschätzen zu können.

Der vorliegende Bericht liefert einen Überblick über den Bestand der Stahlbrücken im Bundesfernstraßennetz und enthält eine Zusammenstellung unterschiedlicher Maßnahmen zur Instandsetzung, Verstärkung und Tragfähigkeitserweiterung. Es wird deutlich, dass dabei das Potential bei weitem noch nicht ausgeschöpft ist und weiterhin erheblicher Forschungsbedarf besteht.

### **Steel-bridges: status analysis, construction maintenance and enhancement**

Since 20 to 25 years more and more damages have been registered on steel bridges built in the 1960s. These damages are caused by an unsatisfactory quality of components in combination with growing loads caused by the increasing traffic – especially the heavy load traffic.

The goals of the described research are to classify the existing steel bridges according to their potential sustainability and to assess the future need for construction maintenance and enhancement methods.

The present work gives a survey about the existing steel bridges existing in the federal road network and includes a compilation of different methods for corrective maintenance, strengthening and retrofitting. It appears that the potential is far from being exhausted and considerable research is still required.



## Inhalt

<b>Kurzfassung · Abstract .....</b>	<b>3</b>
<b>Inhalt .....</b>	<b>5</b>
<b>1 Einleitung .....</b>	<b>7</b>
1.1 Allgemein.....	7
1.2 Schäden an orthotropen Fahrbahnplatten ..	7
<b>2 Zielsetzung und Aufgabenstellung .....</b>	<b>11</b>
<b>3 Bestandsanalyse .....</b>	<b>11</b>
3.1 Allgemein.....	11
3.2 Einwirkungsseite .....	11
3.3 Widerstandsseite.....	15
3.4 Klassifizierung .....	19
<b>4 Erhaltung und Erweiterung .....</b>	<b>21</b>
4.1 Allgemein.....	21
4.2 Nachrechnung .....	21
4.3 Instandsetzung und Verstärkung .....	23
4.4 Tragfähigkeitserhöhung.....	23
4.5 Ersatzneubau .....	27
4.6 Schlussfolgerung.....	27
<b>5 Zusammenfassung und Ausblick.....</b>	<b>28</b>
<b>Literatur .....</b>	<b>29</b>





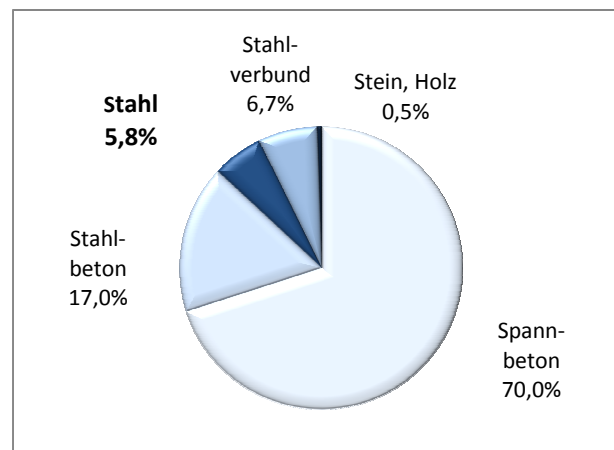
# 1 Einleitung

## 1.1 Allgemein

Im Netz der Bundesfernstraßen (Autobahnen und Bundesstraßen) in Deutschland befinden sich derzeit etwas mehr als 51.000 Brücken<sup>1</sup>, für die der Bund als Baulastträger zuständig ist. Aufgrund der Topografie haben hier nicht die spektakulären, großen Bauwerke den überwiegenden Anteil, sondern die kleinen und mittleren Brücken. Dies spiegelt sich auch in der Häufigkeitsverteilung der unterschiedlichen Bauarten wieder (siehe Bild 1). Den weitaus größten Anteil haben Stahlbeton- und Spannbetonbrücken, die sich bei kleinen und mittleren Spannweiten als wirtschaftlichste Lösung erwiesen haben. Wenngleich die Bauwerke aus Stahl mit rund 5,8% einen, im Vergleich zur Gesamtzahl, geringen Anteil darstellen, sind Stahlbrücken im Bereich des Großbrückenbaus überproportional vertreten. Der Grund dafür liegt in dem gegenüber Betonbrücken geringen Eigengewicht, was bei größeren Spannweiten zunehmend an Bedeutung gewinnt. So wurden z. B. die meisten der großen Strombrücken über den Rhein als Stahlbrücken konzipiert. Die rund 200 Stahlbrücken weisen eine Gesamtüberbaufläche von knapp 1,2 Mio m<sup>2</sup> auf und haben eine Gesamtlänge von etwa 52 km (Stand 01.09.2016).

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 StVZO zulässigen Gesamtgewichte und Achslasten sind deutlich gestiegen. Neuste Verkehrsprognosen gehen davon aus, dass der Straßen-Güterverkehr durch das wirtschaftliche Wachstum in Europa und die Lage Deutschlands als Transitland bis 2030 nochmals um etwa 40% zunehmen wird [1]. Aufgrund des gegenüber Betonbrücken deutlich geringeren Eigengewichts wirkt sich eine solche Erhöhung der Verkehrsbelastung bei Stahlbrücken besonders ungünstig aus.

Ein Großteil der heute stehenden Stahlbrücken wurde in den 1960er Jahren errichtet, als man die rasante Entwicklung der ermüdungsrelevanten Belastungen in Form von Schwerverkehr noch nicht vorhergesehen hat.



**Bild 1:** Häufigkeitsverteilung der Brückenflächen in Bundesfernstraßen nach Bauweisen (Stand: 01.09.2016)

Während in den neuen europäischen Normen für die Bemessung von Stahlbrücken 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 20 bis 25 Jahren ist bei Stahlbrücken eine stetige Zunahme von Schäden in Form von Schweißnaht- und Blechrissen zu verzeichnen, die immer wieder Anlass zu aufwändigen Instandsetzungsmaßnahmen geben. In vielen Fällen hat man sich dabei auf das Ausfugen und Nachschweißen der schadhaften Stellen beschränkt, was im Nachhinein oft nicht zu dem erhofften Erfolg führte.

Um auch bei weiter ansteigenden Beanspruchungen eine hinreichende Gesamtlebensdauer ohne erhöhten Wartungsaufwand sicherzustellen, werden wirksame Konzepte und neue Lösungen für die Instandsetzung von Stahlbrücken notwendig.

## 1.2 Schäden an orthotropen Fahrbahnplatten

Unabhängig vom jeweils ausgeführten Brückensystem (Vollwandbalkenbrücke, Fachwerkbalkenbrücke, Stabbogenbrücke, Schrägseil- und Hängebbrücke) haben reine Stahlbrücken häufig ein gemeinsames Konstruktionsmerkmal – die Ausbildung der Fahrbahnplatte. Sie dient dem Zweck der Aufnahme und Weiterleitung der Lasten aus dem Straßenverkehr und besteht aus einer Vielzahl von Blechen, die durch Schweißnähte miteinander verbunden sind.

<sup>1</sup> Der Begriff Brücken bezieht sich in den Ausführungen dieses Berichts auf die einzelnen Teilbauwerke gemäß ASB-ING

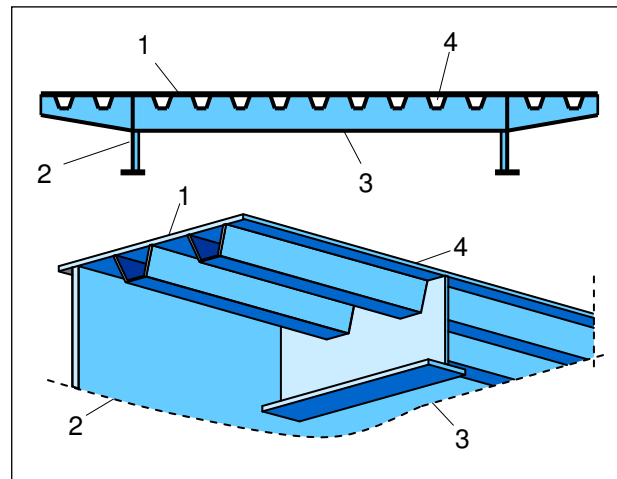
Bedingt durch die typische konstruktive Ausbildung mit Deckblech, Längsrippen, Quer- und Hauptträgern (siehe Bild 2) weist die Fahrbahnplatte in den beiden aufeinander senkrecht stehenden (oder orthogonalen) Hauptrichtungen unterschiedliche (oder anisotrope) Eigenschaften auf, insbesondere hinsichtlich der Biegesteifigkeit. Daraus leitet sich auch die Fachbezeichnung „orthogonal anisotrope Fahrbahnplatte“ ab, oder kurz „orthotrope Platte“.

Entsprechend der historischen Entwicklung findet sich eine Vielzahl verschiedener konstruktiver Lösungen, die zu unterschiedlichen Erfahrungen hinsichtlich Wirtschaftlichkeit und Dauerhaftigkeit und schließlich zur heute angewendeten Standardbauweise geführt haben. Einige der frühen Konstruktionen, die inzwischen 50 bis 60 Jahre unter Verkehr stehen, zeigen vermehrt Schäden, die ihre Ursache im Wesentlichen in der unzweckmäßigen Gestaltung konstruktiver Details und den damit verbundenen Problemen für eine ermüdungsgerechte Ausführung haben [2].

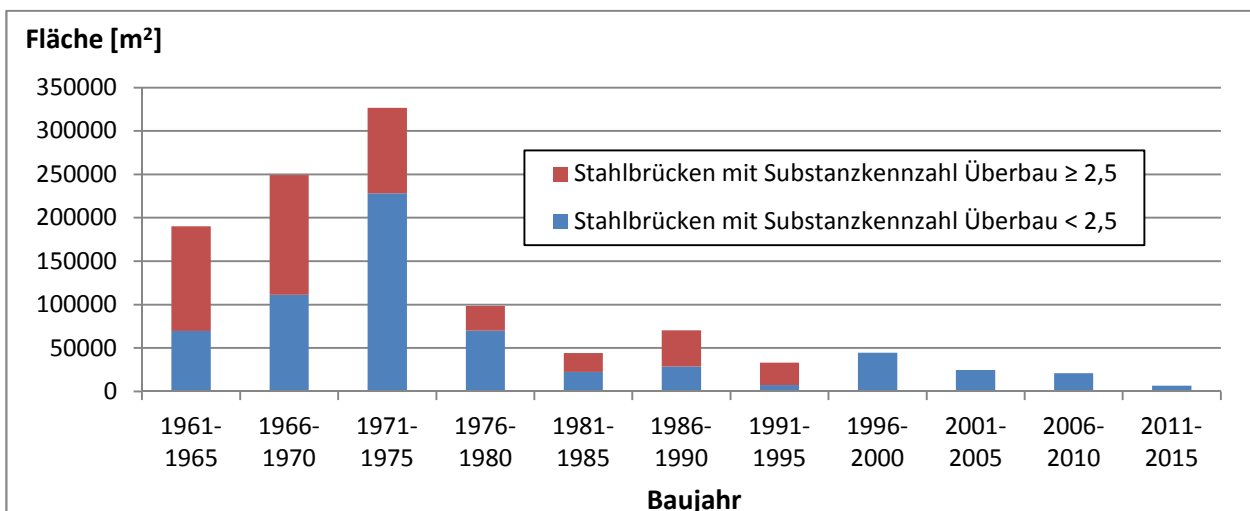
Dazu kommt eine gestiegene Ermüdungsbelastung durch den anwachsenden Schwerverkehr. Als Beurteilungskriterium wird in den Ausführungen dieses Berichts die sogenannte Substanzkennzahl des Überbaus herangezogen, was der Zustandsnote des Überbaus ohne eine Bewertung der Verkehrssicherheit entspricht. Die Substanzkennzahl Überbau  $\geq 2,5$  weist auf einen nicht mehr befriedigenden Bauwerkszustand infolge von Schäden hin (Bild 3).

Die Schäden in früheren Ausführungen der orthotropen Platten können in vier Hauptkategorien je nach Lage des betroffenen Details und dessen Rolle bei der Lastabtragung klassifiziert werden. (Bilder 4 bis 7). Diese Kategorisierung weist auf

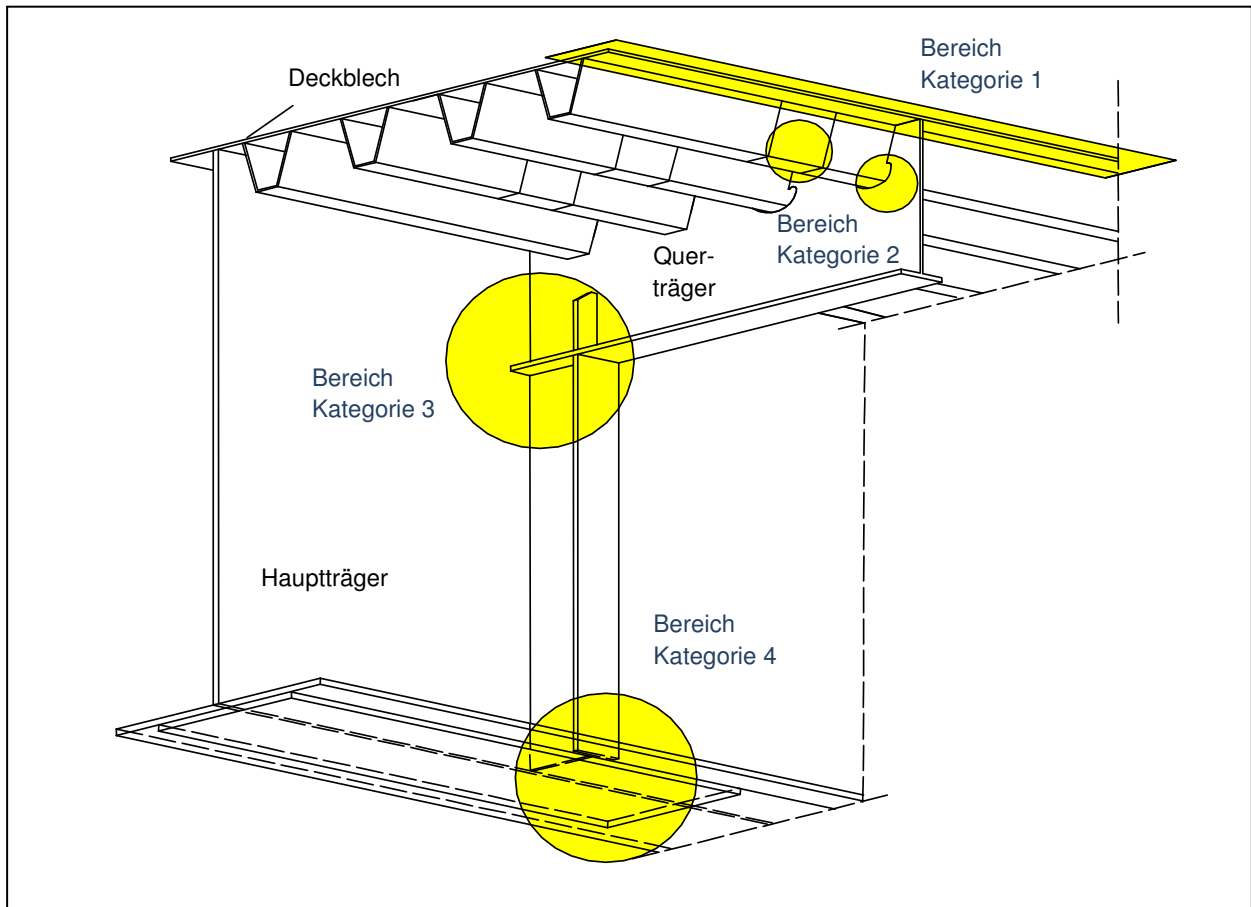
verschiedene Schwachstellen der Brückenkonstruktion und in der Lastabtragung von der Fahrbahn (Kategorie 1) über die Rippen (Kategorie 2) in die Querträger und Rahmen (Kategorie 3) und schließlich die Hauptträger (Kategorie 4) hin. Damit liefert sie einen Anhalt für die Gefährdung, was sowohl bei der Berechnung und Konstruktion neuer Brücken berücksichtigt werden sollte als auch bei der Prüfung und Bewertung bestehender Brücken, vor allem im Hinblick auf zukünftige Steigerungen der Verkehrsbelastung. Besonders gefährdet sind das Fahrbahn-Deckblech und seine Anschlüsse (Kategorie 1), da sich hier die Größe und Anzahl der Achs- und Radlasten direkt auswirken und Schäden die Brücke unbefahrbar machen können. Solche Schäden führen unweigerlich zum Ersatz der gesamten Konstruktion, wenn nicht geeignete Lösungen gefunden werden, um die Reparatur mit einer Verstärkungsmaßnahme zu verbinden, die das Blech in Zukunft dauerhaft von den Beanspruchungen entlastet. [2]



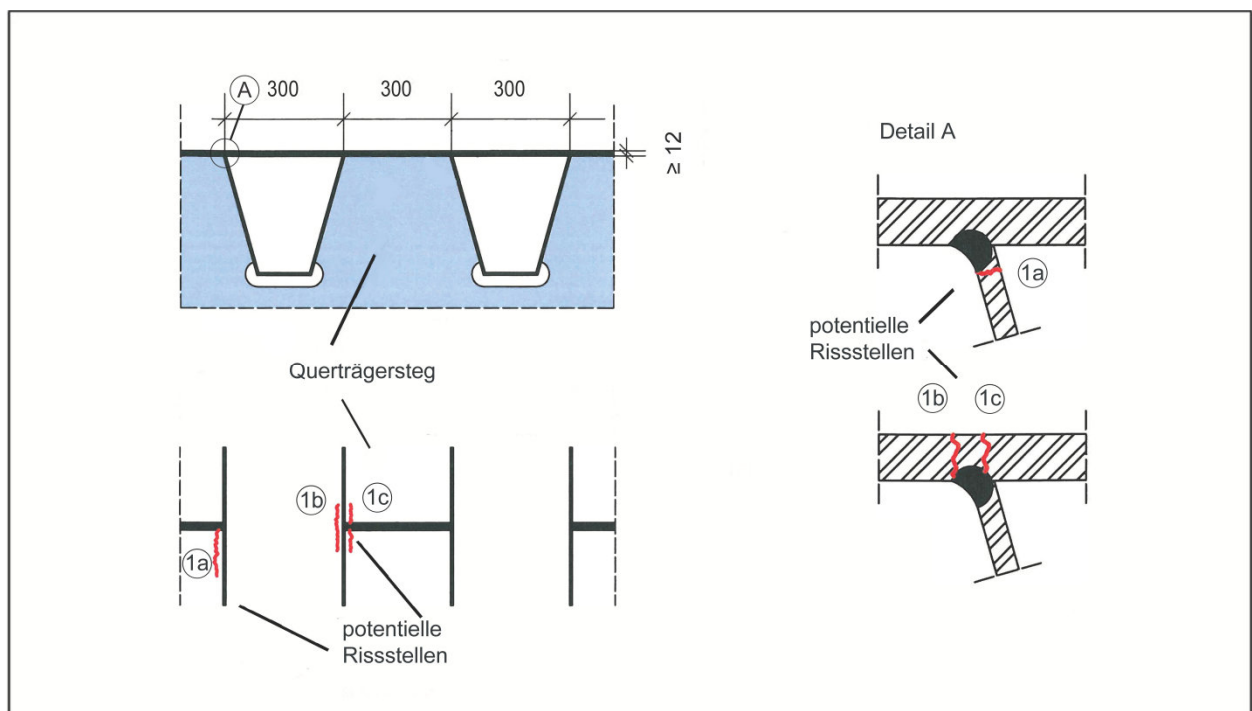
**Bild 2:** Aufbau einer orthotropen Fahrbahnplatte  
1 Deckblech 2 Hauptträger  
3 Querträger 4 Längssteife



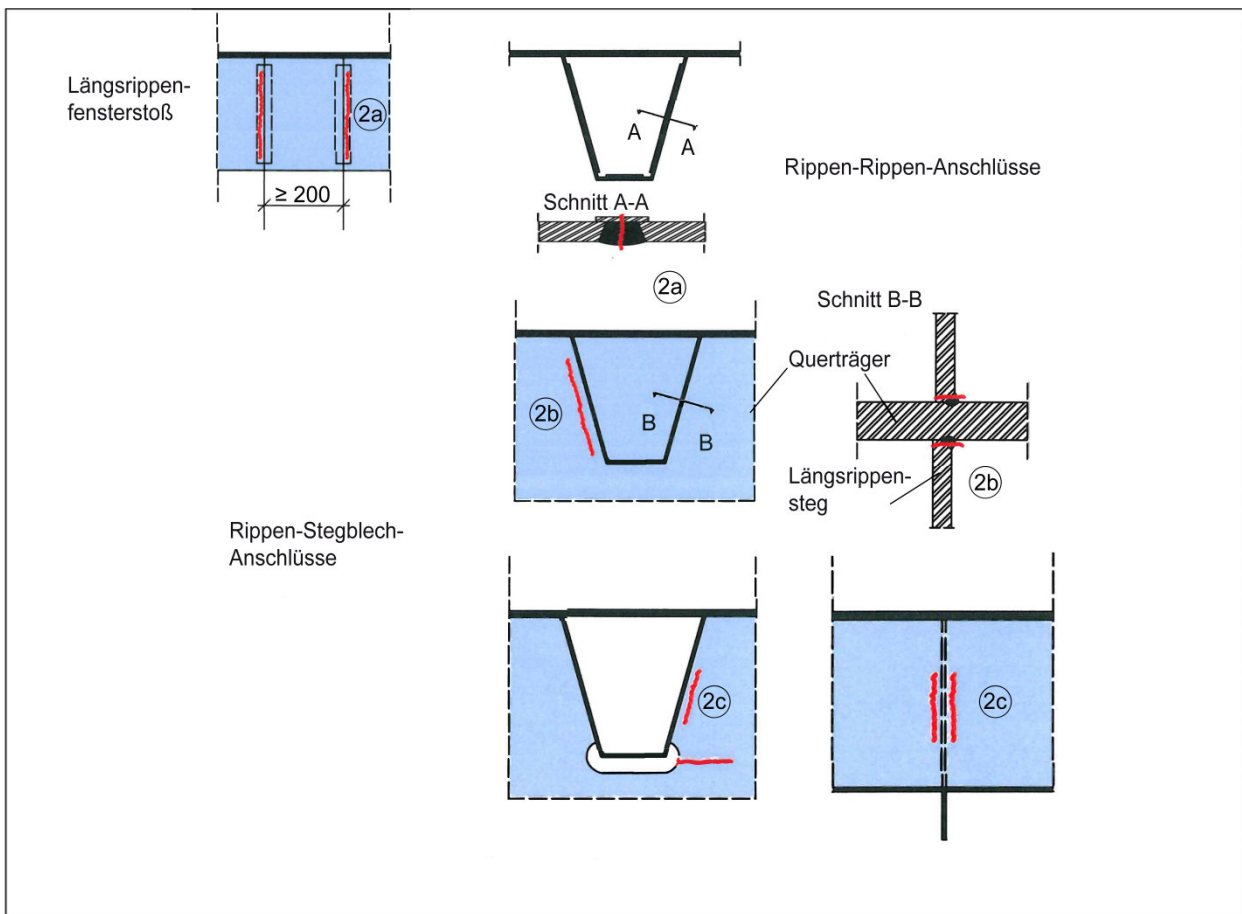
**Bild 3:** Stahlbrücken in Bundesfernstraßen



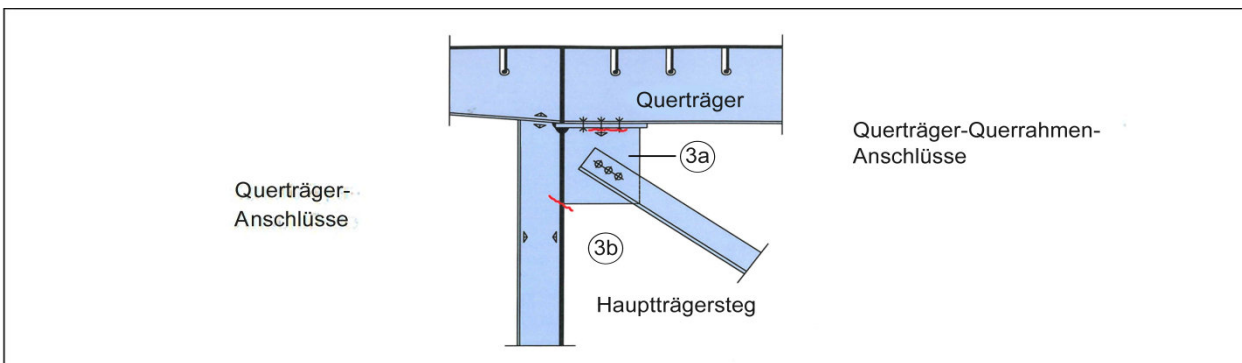
**Bild 4:** Heutige Standardbauweise und Gefährdungsbereiche



**Bild 5:** Gefährdungskategorie: Anschlüsse im Deckblech



**Bild 6:** Gefährdungskategorie 2: Anschlüsse im Längssystem



**Bild 7:** Gefährdungskategorie 3: Anschlüsse im Quersystem

Drei prominente Beispiele für Stahlbrücken mit derartigen Schäden sind:

- Die Haseltalbrücke im Zuge der A3: Nach jahrzehntelangen umfangreichen Verstärkungsmaßnahmen wurde das Bauwerk durch eine neue Spannbetonbrücke ersetzt.
- Rheinbrücke Leverkusen: Seit 2014 ist die Brücke für Fahrzeuge mit einem Gewicht von über 3,5 Tonnen gesperrt. Ein Ersatzneubau befindet sich in der Ausschreibung; der erste Überbau soll im Jahr 2020 fertig gestellt sein.
- Rheinbrücke Duisburg-Neuenkamp: Seit 2014 sind anstelle von sechs nur noch maximal vier Fahrstreifen freigegeben. Ein Ersatzneubau befindet sich in der Planung; der erste Überbau soll im Jahr 2023 fertig gestellt sein.

## 2 Zielsetzung und Aufgabenstellung

Vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) veranlasste Verkehrsmessungen und Nachrechnungen haben ergeben, dass ältere Bauwerke in hoch belasteten Autobahnen und Bundesstraßen bereits den heute vorhandenen Verkehr nur noch eine begrenzte Zeit aufnehmen können, wodurch die vorgesehene Nutzungsdauer der Bauwerke nicht mehr in allen Fällen erreicht werden kann [3].

Andererseits bietet der Werkstoff Stahl grundsätzlich gute Voraussetzungen für nachträgliche Erhöhtigungsmaßnahmen an bestehenden Bauwerken.

Das Ziel ist es, einen Überblick über den aktuellen Bestand der Stahlbrücken im deutschen Bundesfernstraßennetz zu geben und Möglichkeiten für den weiteren Umgang damit aufzuzeigen.

Die Aufgabe besteht darin, die Bauwerke im Hinblick auf ihre Zukunftsfähigkeit zu klassifizieren und die neusten Entwicklungen bei den hierfür relevanten Erhaltungs- und Erweiterungsmaßnahmen zusammenzustellen.

## 3 Bestandsanalyse

### 3.1 Allgemein

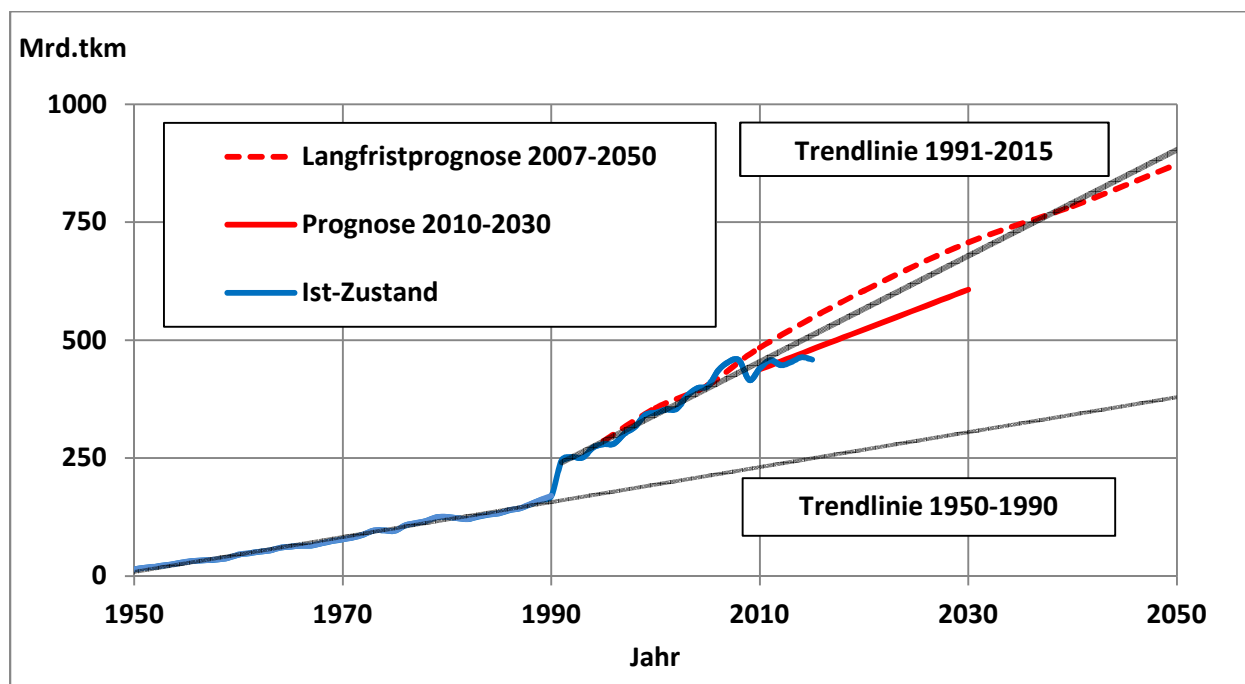
Im Rahmen der Bestandsanalyse werden alle relevanten Daten getrennt für die Einwirkungs- und die Widerstandsseite erfasst, gefiltert und aufbereitet. Die Zusammenführung beider Seiten erlaubt eine Klassifizierung der bestehenden Stahlbrücken im Hinblick auf ihre Zukunftsfähigkeit.

### 3.2 Einwirkungsseite

#### 3.2.1 Allgemein

Auf der Einwirkungsseite sind die extreme Zunahme des Güterverkehrs und die damit verbundene Anpassung der Bemessungslasten von entscheidender Bedeutung (Bild 8). Als problematisch erweisen sich darüber hinaus auch neue Reifenentwicklungen sowie die stark angestiegene Zahl der genehmigten Schwertransporte.

Aufgrund des gegenüber Betonbrücken vergleichsweise geringen Eigengewichts muss die Zunahme der Verkehrslasten auf der Einwirkungsseite aus Sicht der Stahlbrücken als besonders kritisch eingestuft werden.



**Bild 8:** Entwicklung und Prognose des Straßengüterverkehrs in Deutschland (Stand 2016)

### 3.2.2 Verkehrslasten

Im Laufe der Jahre wurden die Einwirkungen aus dem Straßenverkehr für neue Brücken immer wieder der Verkehrsentwicklung und den steigenden zulässigen Gesamtgewichten der Lkw angepasst (Bilder 9 und 10).

Im Jahre 1952 wurden in Deutschland für die Lastannahmen für Straßenbrücken mit der DIN 1072 (1952) das dreiachsige 60 t-Schwerlastfahrzeug und somit die Brückenklasse 60 (BK 60) eingeführt (Bild 10a). Damit konnten die Verkehrslasten über Jahrzehnte ausreichend abgedeckt werden.

Wegen des steigenden Verkehrsaufkommens wurde eine Anpassung der Lastnorm mit Einführung der Brückenklasse 60/30 (BK 60/30) im Jahre 1982 vorgenommen (Bild 10b).

Mit der Einführung des DIN-Fachberichts 101 im März 2003 erfolgte die Umstellung auf das semi-probabilistische Sicherheitssystem mit Teilsicherheitsbeiwerten auf Einwirkungs- und Widerstandsseite. Der Sicherheitsbeiwert auf der Einwirkungsseite beträgt hierbei 1,5. Maßgeblich für die Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit ist das Lastmodell 1 (LM1) mit der Anordnung von Doppelachsen in den Fahrstreifen 1 und 2 (Bild 10c).

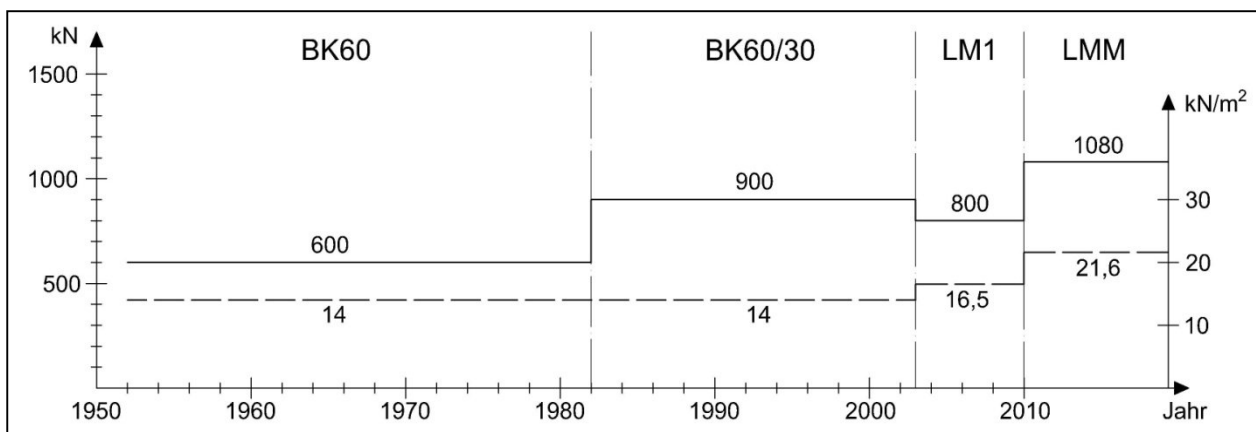
Neueste Verkehrsprognosen gehen davon aus, dass der Straßen-Güterverkehr bis 2030 nochmals um etwa 40% zunehmen wird [1]. Aus diesem Grund erfolgte eine weitere Erhöhung der einwirkenden Verkehrslasten in Form eines modifizierten Lastmodells (LMM) (Bild 10d). Bei gleichzeitiger

Reduzierung des Teilsicherheitsbeiwerts auf den international üblichen Wert von 1,35 werden die charakteristischen Achs- und Flächenlasten durch die Anpassung der Faktoren  $\alpha_{Q1}$  und  $\alpha_{q1}$  deutlich erhöht.

Bild 9 veranschaulicht qualitativ die Entwicklung der Lastmodelle, wobei jeweils die Summe aller Einzellasten (durchgezogene Linie) sowie die Summe der Flächenlasten (gestrichelte Linie) bezogen auf einen 3 m breiten Fahrstreifen dargestellt wird. Um den geringeren Teilsicherheitsfaktor zu berücksichtigen, erfolgte die Berechnung des Lastmodells LMM mit um den Faktor 0,9 reduzierten Werten ( $1,35 / 1,5 = 0,9$ ).

Die Entwicklung der Lastmodelle spiegelt sich auch in der Altersstruktur der Bauwerke wider. Den meisten Stahlbrücken, die bis Anfang der 1980er Jahre errichtet wurden, liegt die Brückenklasse 60 zugrunde. Manche dieser Brücken ließen sich nachträglich (durch Nachrechnung oder Verstärkung) der Brückenklasse 60/30 zuordnen (Bild 11).

Bei den zwischen 1986 und 2005 errichteten Stahlbrücken dominiert die Brückenklasse 60/30, die jüngst wiederum von den Lastmodellen LM1 (gemäß DIN-Fachbericht 101) bzw. LMM (entspricht LM1 gemäß DIN EN 1991-2) abgelöst wurde (Bild 11). Bezogen auf die Brückenfläche weisen 68% der Stahlbrücken die Brückenklasse 60 und 21% der Stahlbrücken die Brückenklasse 60/30 auf, während lediglich 5% der Stahlbrücken nach dem Lastmodell 1 bemessen sind. Bei 6% der Stahlbrücken ist die Brückenklasse niedriger oder es liegen keine Angaben vor (Bild 12).



**Bild 9:** Qualitative Entwicklung der Lastmodelle (für eine Querschnittsbreite von 12 m)

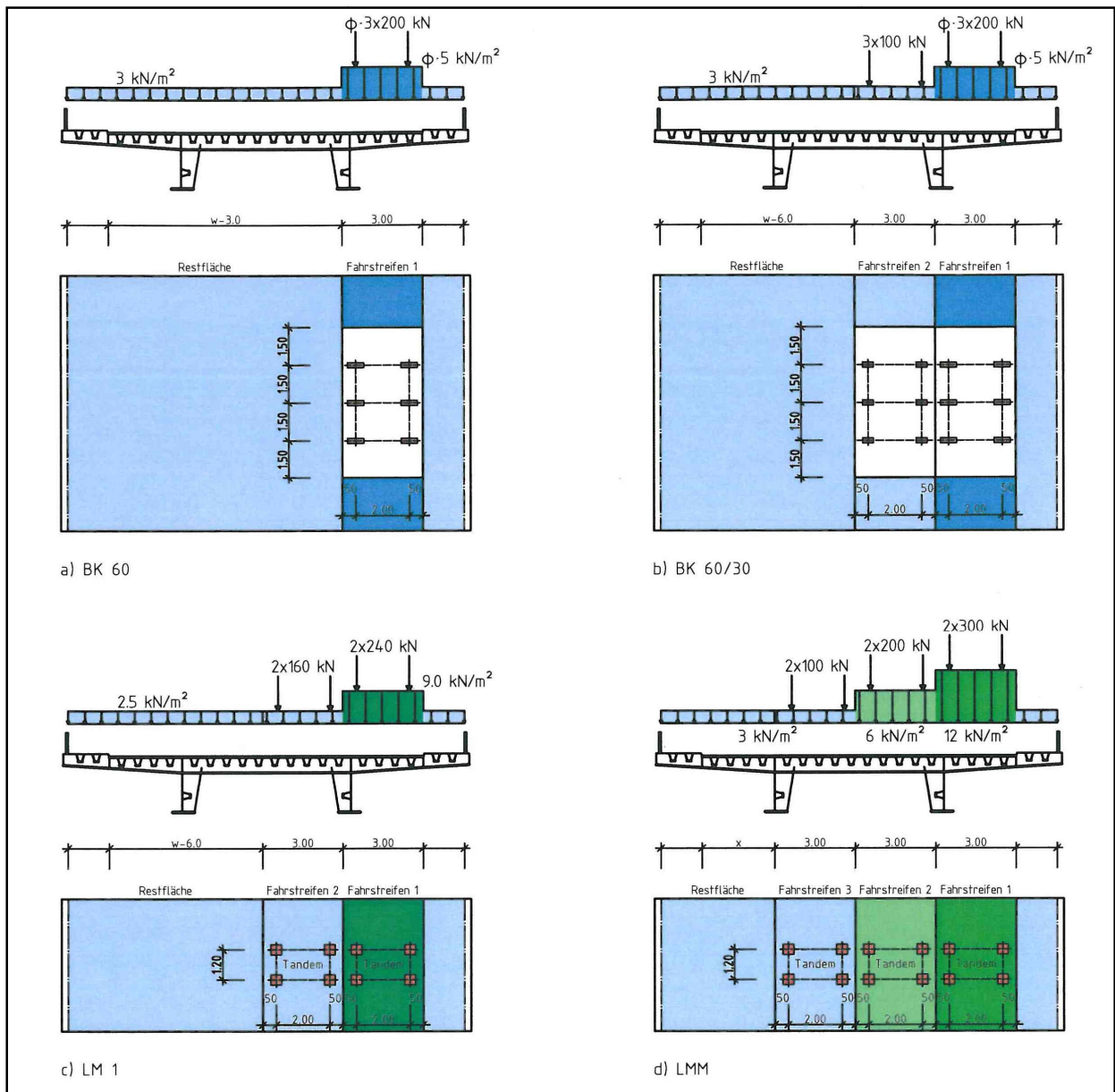


Bild 10: Bemessungslasten für Brücken

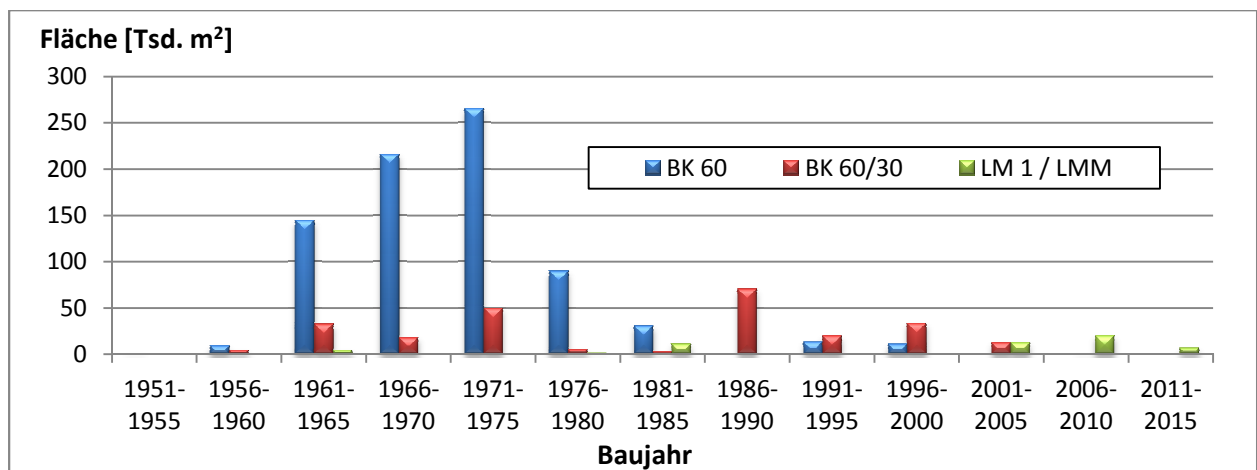


Bild 11: Bestehende Stahlbrücken (Brückenklassen)

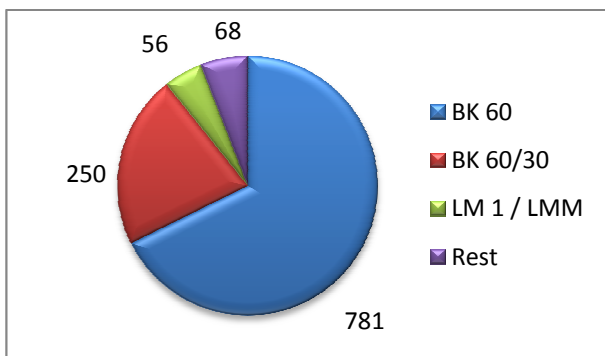


Bild 12: Stahlbrückenfläche in Tsd. m<sup>2</sup> je Brückenklasse

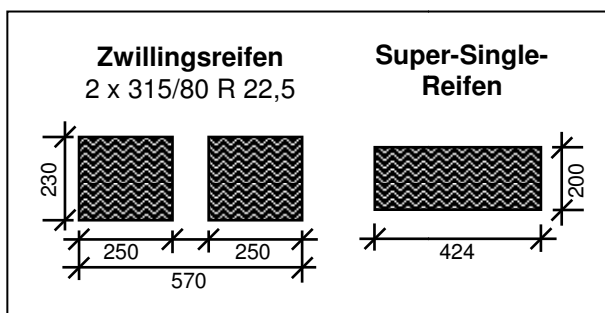


Bild 13: Radaufstandsflächen im Vergleich [mm]

### 3.2.3 Reifenentwicklung

Die gültige Straßenverkehrszulassungs-Ordnung (StVZO) erlaubt für Nutzfahrzeuge eine maximale Einzelachslast von 11,5 t (für die angetriebene Achse) bei einem zulässigen Gesamtgewicht von bis zu 40 t (für Fahrzeugkombinationen mit mehr als 4 Achsen) bzw. 44 t (für Sattelkraftfahrzeuge zur Beförderung eines ISO-Containers).

Eine deutliche Verschärfung könnte sich mit dem Wechsel von Zwillingsbereifung zu einer Bereifung auch der Antriebsachsen mit Wide-Base-Super-Single Reifen vollziehen. Durch die verringerte Radaufstandsfläche (siehe Bild 13) entsteht bei gleichbleibender Achslast eine Erhöhung der Flächenpressung unter dem Reifen um etwa 36%. Dadurch entstehen lokale Spannungsspitzen, die sich bei den vergleichsweise schlanken und weichen Fahrbahnplatten von Stahlbrücken besonders ungünstig auswirken.

Bislang wird der Super-Single-Reifen von den Spediteuren in Europa kaum eingesetzt.

### 3.2.4 Schwertransporte

Zur Erfassung des aktuellen Verkehrsszenarios auf Bundesfernstraßen wurden von der Universität Duisburg-Essen Verkehrslastmessungen an einer Brücke im Rahmen einer 18-monatigen automatisierten Dauerüberwachung (Monitoring) durchgeführt. Diese Messungen ergaben erheblich höhere

Gesamtgewichte (G) und Achslasten (F), als sie nach der StVZO für Nutzfahrzeuge vorgesehen sind. Die Höchstwerte betragen  $G_{\max} = 67$  t und  $F_{\max} = 17$  t. Die erfassten Schwertransporte (STP) wiesen Gesamtgewichte bis zu  $G_{\max} = 169$  t (für dauergenehmigte STP) bzw.  $G_{\max} = 228$  t (für einzelgenehmigte STP) auf. [4]

Wenngleich solch hohe Belastungen mit einem Anteil von unter 3% verhältnismäßig selten vorkommen, dürfen sie aber nicht als unproblematisch angesehen werden. Die hohen Gesamtgewichte und Achslasten können zu einer deutlichen Reduzierung der Lebensdauer von Fahrbahnbelag und Fahrbahnplatte führen.

Auch zukünftig ist mit einer weiteren Zunahme des Verkehrsaufkommens mit höheren Gesamtgewichten und Achslasten zu rechnen. Seit dem 01.01.2017 können Lang-Lkw mit einer Gesamtlänge von bis zu 25,25 m im streckenbezogenen Regelbetrieb fahren [5]. Die von den Transportverbänden propagierte Anhebung der zulässigen Gesamtgewichte auf 60 t konnte aufgrund der voraussichtlich fatalen Auswirkungen auf eine Vielzahl der deutschen Straßenbrücken vorerst abgewendet werden. In Anbetracht des zunehmenden europäischen Wettbewerbs ist jedoch mit erneuten Forderungen der Transportverbände nach einer Erhöhung der zulässigen Gesamtgewichte zu rechnen.

### 3.2.5 Schlussfolgerung

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 StVZO zulässigen Gesamtgewichte und Achslasten sind deutlich gestiegen. Hinzu kommen steigende Beanspruchungen infolge der neuesten Reifenentwicklung sowie durch die stark angestiegene Zahl der genehmigten Sonderschwertransporte.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die Einwirkungen im Laufe der Zeit deutlich angewachsen sind und dass sich dieser Trend voraussichtlich auch zukünftig fortsetzt. Dieser Entwicklung wird mit dem modifizierten Lastmodell Rechnung getragen.

Ein grundsätzliches Problem besteht darin, dass die genaue Belastungsgeschichte von Brücken nicht bekannt ist. Ohne diese Grundlage können weder eine Schadensakkumulation noch eine seriöse Abschätzung der Restnutzungsdauer erfolgen.



Dies bedeutet im Umkehrschluss, dass das Brückenmanagement der Zukunft von einer exakten Erfassung der Achslasten enorm profitieren würde. Aktuell laufen Forschungsprojekte, im Rahmen derer eine indirekte Achslasterfassung über intelligente Fahrbahnübergänge und Lager untersucht werden [6]. Im Zuge der Digitalisierung sollte auch eine direkte Erfassung der Achslasten zumindest technisch möglich sein, indem per „on-board“-Sensoren erhobene Daten brückenseitig anonym ausgelesen und aufgezeichnet werden.

### 3.3 Widerstandsseite

#### 3.3.1 Allgemein

Um die Auswirkungen der erhöhten Beanspruchungen auf die bestehenden Brücken beurteilen zu können, ist eine differenzierte Betrachtung der Widerstandsseite erforderlich. Das Augenmerk richtet sich dabei insbesondere auf den Bauwerkszustand der bestehenden Stahlbrücken sowie auf die Entwicklungsschritte der orthotropen Fahrbahnplatte. Darüber hinaus wird auf konstruktive Besonderheiten infolge der Einführung des Ermüdungsnachweises eingegangen.

#### 3.3.2 Bauwerkszustand

Um die ständige Funktionstüchtigkeit und Verkehrssicherheit der Brückenbauwerke zu gewährleisten, werden diese einer regelmäßigen Überwachung und Prüfung nach DIN 1076 [7] unterzogen. Für jede einzelne Brücke werden dabei nach festen Vorgaben Zustandsnoten und Substanzkennzahlen zwischen 1 und 4 berechnet. Die aktuellen Substanzkennzahlen für die Überbauten der rund 200 Stahlbrücken im Bereich der Bundesfernstraßen sind in den Bildern 14 bis 17 dargestellt.

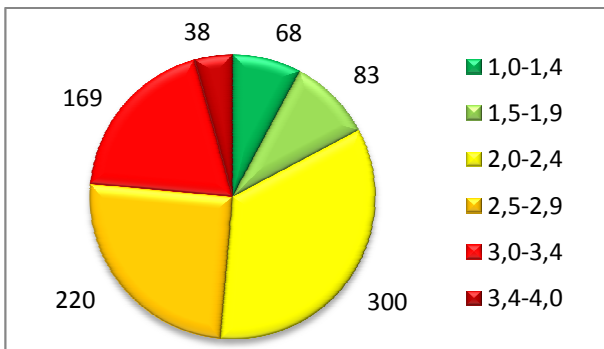
Die Noten-/Kennzahlbereiche lauten wie folgt:

- 1,0-1,4 sehr guter Bauwerkszustand
- 1,5-1,9 guter Bauwerkszustand
- 2,0-2,4 befriedigender Bauwerkszustand
- 2,5-2,9 ausreichender Bauwerkszustand
- 3,0-3,4 nicht ausreichender Bauwerkszustand,
- 3,5-4,0 ungenügender Bauwerkszustand.

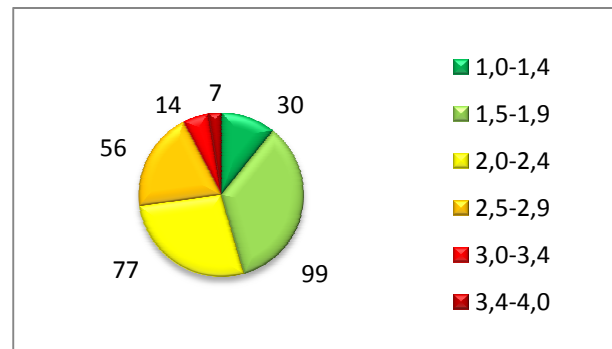
Der Anteil der Bauwerke mit Substanzkennzahlen über 2,5 zeigt, dass aufgrund des Alters und der erhöhten Beanspruchung der Bauwerke verstärkt Schäden auftreten, die eine zeitnahe Umsetzung von Erhaltungsmaßnahmen erfordern.

Im Zuge von Bundesautobahnen sind 48% der Stahlbrücken mit einer Substanzkennzahl von 2,5 und höher eingestuft (Bild 14). Das sind nahezu

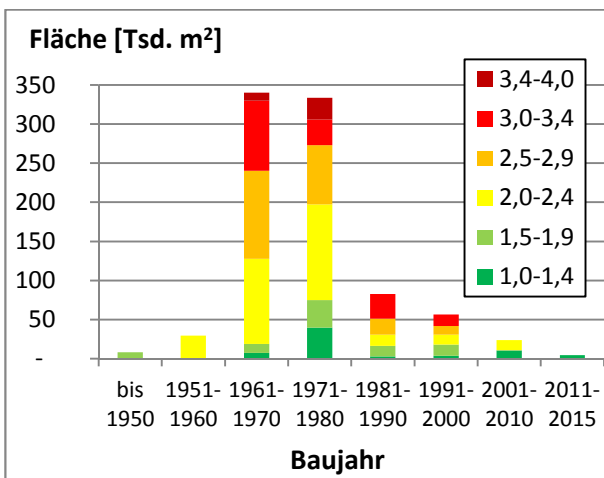
doppelt so viele wie im Zuge von Bundesstraßen, wo der Anteil lediglich 27% beträgt (Bild 16). Eine Betrachtung der Altersstruktur bestätigt die Vermutung, dass sich der Bauwerkszustand mit zunehmendem Alter der Stahlbrücken verschlechtert (Bilder 15 und 17). Auch hier lässt sich ein deutlicher Unterschied zwischen Autobahnen und Bundesstraßen erkennen. Ein Vergleich des Anteils der Bauwerke mit einer besseren Zustandsnote als 2,5 zeigt, dass der Bauwerkszustand der Stahlbrücken im Zuge von Bundesstraßen deutlich besser ist als der der Stahlbrücken im Zuge von Bundesautobahnen. Während im Zuge von Bundesautobahnen lediglich bei den seit Anfang 1990 errichteten Bauwerken der Anteil mit Substanzkennzahlen  $\geq 2,5$  bei über 80% liegt, erreichen dieses Niveau im Zuge von Bundesstraßen die seit Anfang der 1970er Jahre gebauten Stahlbrücken. Einen Anteil zwischen 60% und 80% weisen im Zuge von Bundesautobahnen die zwischen 1981 und 1990 errichteten Bauwerke auf; im Zuge von Bundesstraßen fallen hierunter die in den 1960er Jahren gebauten Stahlbrücken. Bei den zwischen 1961 und 1980 gebauten Stahlbrücken im Zuge von Bundesautobahnen liegt die Quote der Stahlbrücken bei weniger als 60%. Die Anzahl der in den 1950er Jahren oder früher errichteten Bauwerke ist für die Darstellung der Verteilung nach Zustandsnoten statistisch nicht signifikant.



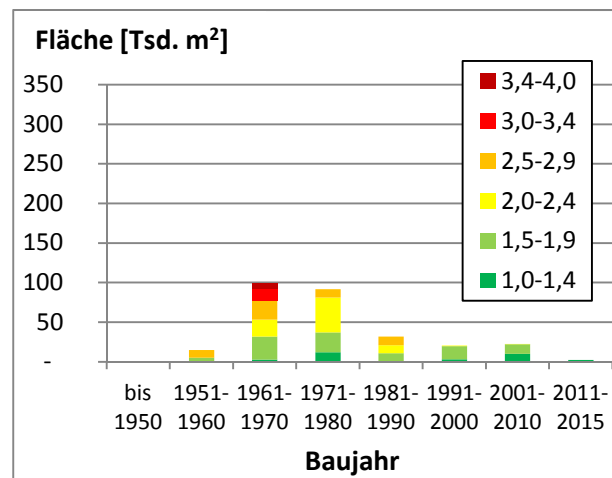
**Bild 14:** Substanzkennzahlen bei Stahlbrücken im Zuge von Bundesautobahnen nach Fläche in Tsd. m²



**Bild 16:** Substanzkennzahlen bei Stahlbrücken im Zuge von Bundesstraßen nach Fläche in Tsd. m²



**Bild 15:** Substanzkennzahlen bei Stahlbrücken im Zuge von Bundesautobahnen (Altersstruktur)



**Bild 17:** Substanzkennzahlen bei Stahlbrücken im Zuge von Bundesstraßen (Altersstruktur)

### 3.3.3 Orthotrope Fahrbahnplatte

Entsprechend der historischen Entwicklung der orthotropen Fahrbahnplatten existieren heute zahlreiche unterschiedliche konstruktive Lösungen, die deutliche Unterschiede hinsichtlich Wirtschaftlichkeit und Dauerhaftigkeit aufweisen. Wesentliche Entwicklungsschritte lassen sich anhand der konstruktiven Ausbildung folgender Details nachvollziehen:

- Längssteifen,
- Kreuzungspunkt zwischen Längsrippe und Querträgersteg,
- Schweißnaht zwischen Längsrippe und Deckblech,
- Deckblech.

#### Ausbildung der Längssteifen

Basierend auf Anwendungen aus dem Schiffbau und dem Stahlwasserbau erfolgte die Ausbildung der Längsrippen bei Stahlbrücken bis Ende der 1950er Jahre meist mittels offener Steifen mit einer Stützweite zwischen den Querträgern von 1,5 m bis 2,5 m (Bild 18). Um die erforderlichen Schweiß-

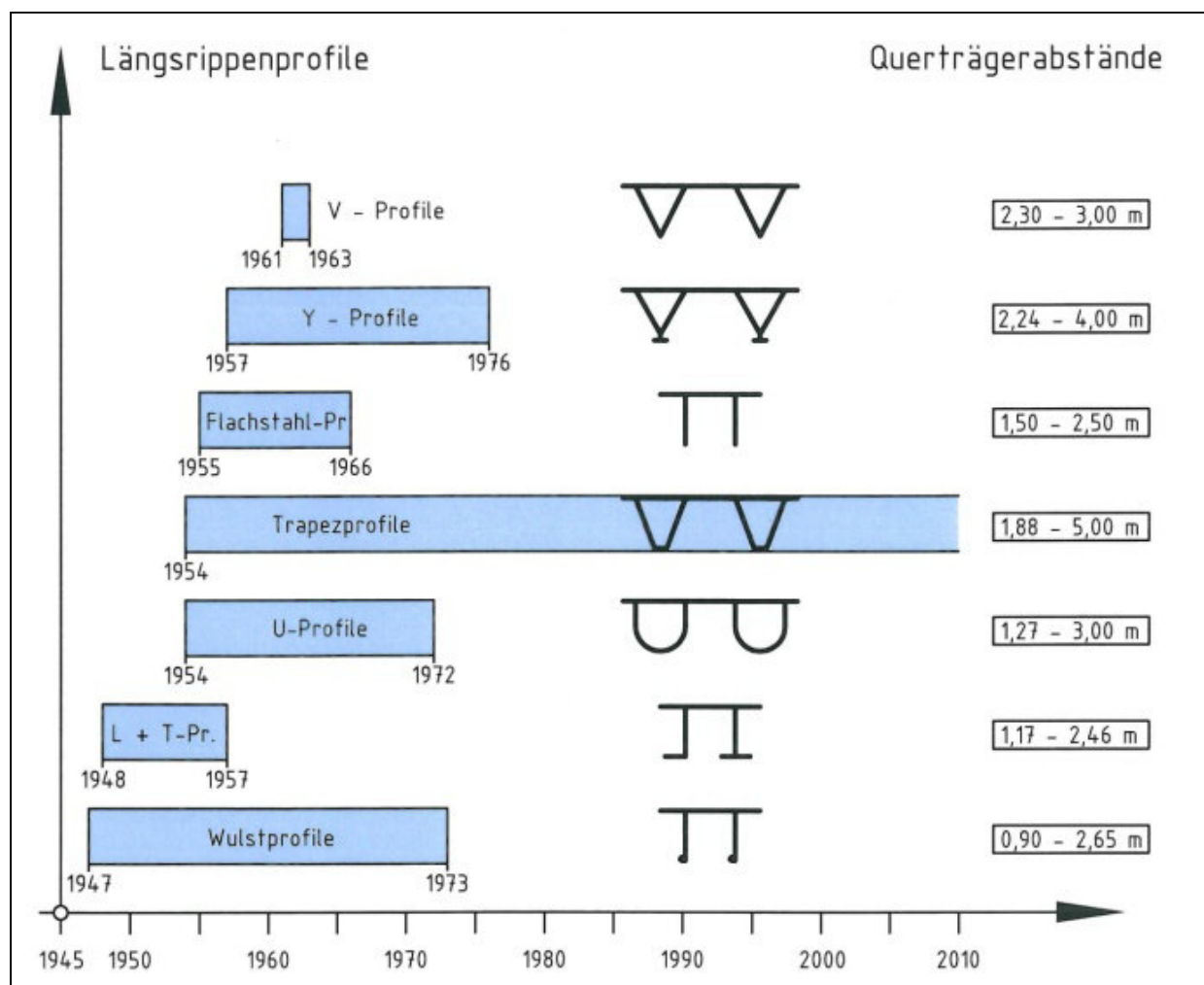
arbeiten zu minimieren, wurde bereits damals mit immer größeren Längsrippenabständen experimentiert. Aufgrund von Asphalt Schäden wurde mit der folgenden konstruktiven Regel eine Grenze eingeführt, die bis heute Gültigkeit besitzt:

$$e/t \geq 25 \quad \text{mit}$$

e = Längsrippenabstand

t = Deckblechdicke

Ab etwa 1960 kamen überwiegend geschlossene Steifen zum Einsatz, die gegenüber der offenen Bauweise mehrere Vorteile aufweisen. Bedingt durch eine Erhöhung der Stützweite (auf bis zu 3,60 m bei Sektkelchprofilen) ließ sich die Anzahl der Kreuzungspunkte verringern. Gleichzeitig wurde das Schweißnahtvolumen um 50% reduziert, was nicht nur auf der Materialseite, sondern insbesondere auch bei der Fertigung zu erheblichen Einsparungen führt. Darüber hinaus bewirkt die Torsionssteifigkeit der Längsrippen eine signifikante Verbesserung des lokalen Tragverhaltens. Aus patentrechtlichen Gründen wurden verschiedene geschlossene Längsrippenprofile verwendet (Bild 19).



**Bild 18:** Konstruktive Ausbildung geschlossener Längsrippen

Mit der Entwicklung der Kaltumformtechnik haben sich schließlich die abgekanteten Trapezhohlprofile durchgesetzt (mit Stützweiten bis zu 4,5 m), die seit etwa 1971 die Standardbauweise darstellen (Bild 19 d und e).

#### Kreuzungspunkt Längsrippe / Querträger

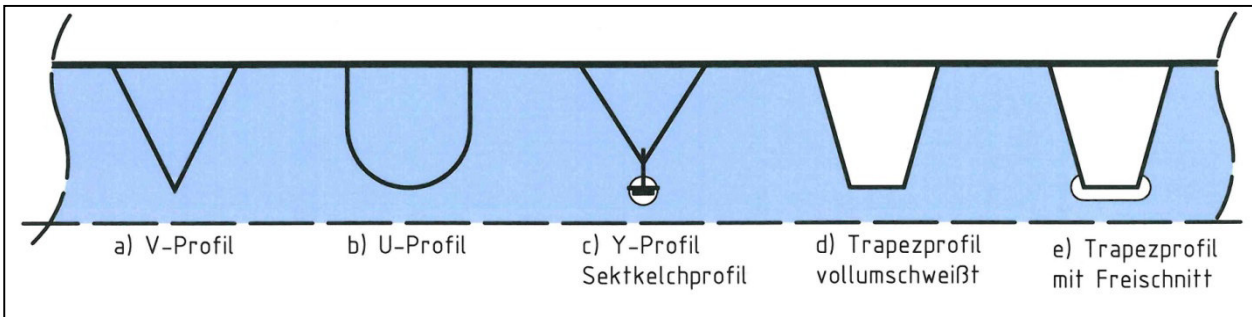
Während die offenen Steifen vergleichsweise simpel durch den Querträgersteg hindurch geführt werden konnten, bereiteten diese Kreuzungspunkte mit geschlossenen Steifen zunächst Probleme. Sowohl bei geschraubten Lösungen als auch bei zwischen den Querträgern eingepassten Längsrippen sind häufig Schäden entstanden. Erst das Konstruktionsprinzip, die Längsrippen durch eine Ausnehmung im Querträger hindurchzuführen, hat zu weniger ermüdungsanfälligen Lösungen geführt.

Bei den bis Mitte der 1970er Jahre häufig verwendeten Y- oder Sektkelch-Profilen sind viele Fehler festgestellt worden, die im Wesentlichen die Anschlussnähte der Schrägbleche an die Querträger, die Verbindungsnaht zwischen dem Querträger-

steg und der Durchführung des angesetzten halben T-Profils sowie die Halsnaht zwischen Schrägblech und Deckblech betreffen [8].

Die trapezförmigen Hohlrippen oder Hohlsteifen stellen den aktuellen Stand der Entwicklung der torsionssteifen Längsrippen dar. Gegenüber den Y-Profilen, bei denen die Kraft- bzw. Momentenübertragung lediglich über eine durchgesteckte Lasche erfolgt, durchlaufen die Trapezhohlprofile die Kreuzungspunkte mit den Querträgern ohne Schwächung.

Bei der heute üblichen Bauweise nach Eurocode 3 [9] werden die Querträgerstegausnehmungen meist so gestaltet, dass am Untergurt der Trapezrippen ein Freischnitt verbleibt und nur eine teilweise Verschweißung der Rippen erfolgt (Bild 19 e). Die Ausführung mit vollständig umschweißten Rippen ist aufgrund der damit verbundenen engen Toleranzanforderungen in Deutschland unüblich (Bild 19 d).



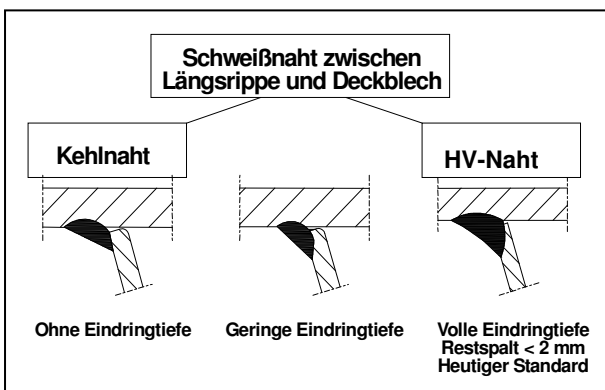
**Bild 19:** Konstruktive Ausbildung geschlossener Längsrippen

Insgesamt betrachtet weisen die bestehenden Stahlbrücken eine große Gestaltungsvielfalt bei der Detailausbildung des Kreuzungspunktes Längsrippe - Querträgersteg auf. Es existiert eine entsprechend große Vielzahl an bauweisenbedingten Schäden, bei denen für jeden Einzelfall eine gezielte Lösung erarbeitet werden muss.

#### Schweißnaht zwischen Längsrippe und Deckblech

Aus den früher üblichen Berechnungsverfahren ergaben sich für dieses Anschlussdetail Halskehlnähte von 3,5 mm bis 4 mm Dicke. Infolge Deckblechbiegung durch die hohen Radlasten werden jedoch auch Biegemomente in die Rippenstege übertragen. Da die im Regelfall 6 mm dicken Rippen jedoch ein deutlich größeres Widerstandsmoment aufweisen als die vergleichsweise dünnen Verbindungsnahten, stellt dieses Anschlussdetail folglich das schwächste und somit auch das schadenanfälligste Glied in der Kette dar.

Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, die Nahtdicke gleich der Rippenblechdicke auszuführen, insbesondere auch bei Reparaturen. Anstelle einer Kehlnaht kommt heute standardmäßig HV-Naht mit voller Eindringtiefe und einem Restspalt  $< 2$  mm zur Anwendung (Bild 20).



**Bild 20:** Konstruktive Ausbildung der Verbindungsnaht zwischen Längsrippe und Deckblech

#### Deckblech

Das Deckblech bildet die Unterlage für den Fahrbahnbelag. Zur Abtragung und Einleitung örtlich konzentrierter Lasten, für eine ausreichende Beulsicherheit und zur Formhaltung von Querschnitten werden die relativ dünnen Deckbleche mit Längsrippen ausgesteift.

Die vorgeschriebene Mindestdicke des Deckblechs wurde im Laufe der Zeit der zunehmenden Verkehrsbelastung angepasst, um die Größe der örtlichen Durchbiegungen und Spannungen zu begrenzen. Mit Einführung der Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen für Kunstbauten, Ausgabe 76 (ZTV-K 76) [10] wurde eine Mindestdicke  $t$  des Deckblechs von 12 mm festgelegt. Wenngleich auch bei den meisten der älteren Bauwerke diese Anforderung erfüllt ist, existieren vereinzelt Stahlbrücken, bei denen die Dicke des Deckblechs lediglich 10 mm beträgt [8]. Mit Einführung des DIN-Fachberichts 103 „Stahlbrücken“, Ausgabe März 2003 wurde für den Fahrbahnbereich eine Deckblechdicke von mindestens 14 mm vorgeschrieben. Diese Anforderung ist auch in den Eurocode 3 eingeflossen [9].

#### 3.3.4 Ermüdungsnachweis

1968 wies Pelikan nach, dass die damals üblichen Tragfähigkeitsuntersuchungen durch Subsysteme gleichzeitig eine ausreichende Ermüdungsfestigkeit sicherstellen [11]. Dennoch ergab sich im Laufe der Zeit eine gewisse Häufung typischer Schäden, die aus dem ständig wachsenden Verkehr und den immer schwerer werdenden Lasten resultieren. Typische Schäden sind:

- Risse in den Schweißnähten zwischen Rippensteg und Deckblech sowie
- Risse in den Durchdringungen Rippen – Querträgerstege.

Im Jahr 1987 erfolgte mit der Einführung der DIN 18809 „Stählerne Straßen- und Wegbrücken“ [12] die Forderung eines Betriebsfestigkeitsnachwei-

ses, der durch die Einhaltung konstruktiver Regeln ersetzt werden konnte.

Auf Veranlassung des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) wurden im Jahr 1998 von einer Expertenrunde Empfehlungen für eine ermüdungssichere Konstruktion von orthotropen Platten erarbeitet. In Anbetracht des europäischen Marktes und Wettbewerbs wurden damit die bisher in Deutschland üblichen Qualitätskriterien erstmals schriftlich niedergelegt. Diese Empfehlungen wurden nahezu 1:1 in den Eurocode 3 übernommen [9]. Bei Einhaltung der Anforderungen ist ein rechnerischer Ermüdungsnachweis nicht erforderlich.

### 3.3.4 Schlussfolgerung

Die Stahlbrücken im Zuge von Bundesautobahnen weisen einen schlechteren Bauwerkszustand auf als die Brücken im Zuge von Bundesstraßen. Da für den Bau, die Prüfung und die Instandhaltung grundsätzlich die gleichen Maßstäbe gelten, liegt die Ursache vermutlich in der unterschiedlich stark ausgeprägten Lkw-Belastung begründet.

Trapezprofile haben sich als die günstigste Längsrippenform bei orthotropen Platten erwiesen. Man begrenzt heute den Querträgerabstand auf maximal 4,5 m. Die Dicke der Schweißnaht zwischen Längsrippe und Deckblech sollte gleich der Rippenblechdicke ausgeführt werden – auch bei Reparaturen. Die Mindestdicke für das Deckblech beträgt für neue Stahlbrücken 14 mm.

Für orthotrope Fahrbahnplatten von Straßenbrücken werden gemäß Eurocode 3 Qualitätsanforderungen definiert, die die Ermüdungssicherheit gewährleisten [9]. Bei Einhaltung der Anforderungen ist ein rechnerischer Ermüdungsnachweis nicht erforderlich.

## 3.4 Klassifizierung

Bei der Zusammenführung von Einwirkungs- und Widerstandsseite lassen sich kaum Korrelationen feststellen. Die Umstellung der Bemessungslasten von BK 60 auf BK 60/30 Anfang der 1980er Jahre scheint keinen Einfluss auf den Bauwerkszustand zu haben. Auch die identifizierten Kenngrößen bezüglich der Reifenentwicklung und der Schwertransporte sind für eine Klassifizierung der bestehenden Bauwerke nur sehr bedingt geeignet.

Allein bei den Substanzkennzahlen des Überbaus und dem Alter der Bauwerke können deutliche Unterschiede und Tendenzen identifiziert werden. Brücken im Zuge von Bundesautobahnen und

Brücken im Zuge von Bundesstraßen werden separat betrachtet (Tabellen 1 und 2). Die Klassifizierung erfolgt in Abhängigkeit des Bauwerkszustandes und des Alters der Stahlbrücken. Beim Bauwerkszustand wird zwischen Substanzkennzahlen von „besser als 2,5“ und Substanzkennzahlen von „2,5 und schlechter“ unterschieden. Die Grenzen beim Baujahr orientieren sich an der Etablierung der Standardbauweise mit Trapezrippen (ab 1971) und an der Einführung der DIN-Fachberichte (der Einfachheit halber wird hier das Jahr 2001 als Bezug verwendet). Damit ergibt sich die folgende Klassifizierung:

- A: Baujahr 2001 – 2008,  $SK < 2,5$ ,
- B: Baujahr 1971 – 2000,  $SK < 2,5$  bzw. Baujahr 2001 – 2008,  $SK \geq 2,5$ ,
- C: Baujahr bis 1970,  $SK < 2,5$  bzw. Baujahr 1971 – 2000,  $SK \geq 2,5$ ,
- D: Baujahr bis 1970,  $SK \geq 2,5$ .

Die Klassifizierung dient dazu, einen Überblick über den Bestand der Stahlbrücken zu ermöglichen. Grundsätzlich ist anhand der Daten in den Tabellen 1 und 2 auch eine genauere Differenzierung möglich, dies wird im Rahmen dieser Arbeit jedoch nicht als zielführend angesehen. Die gewählte Abstufung von A bis D ermöglicht einen qualitativen Vergleich, mit welcher Wahrscheinlichkeit bei Stahlbrücken einer bestimmten Klasse Schäden auftreten. Bei Brücken der Klasse A ist diese Wahrscheinlichkeit am geringsten, bei Brücken der Klasse D am höchsten.

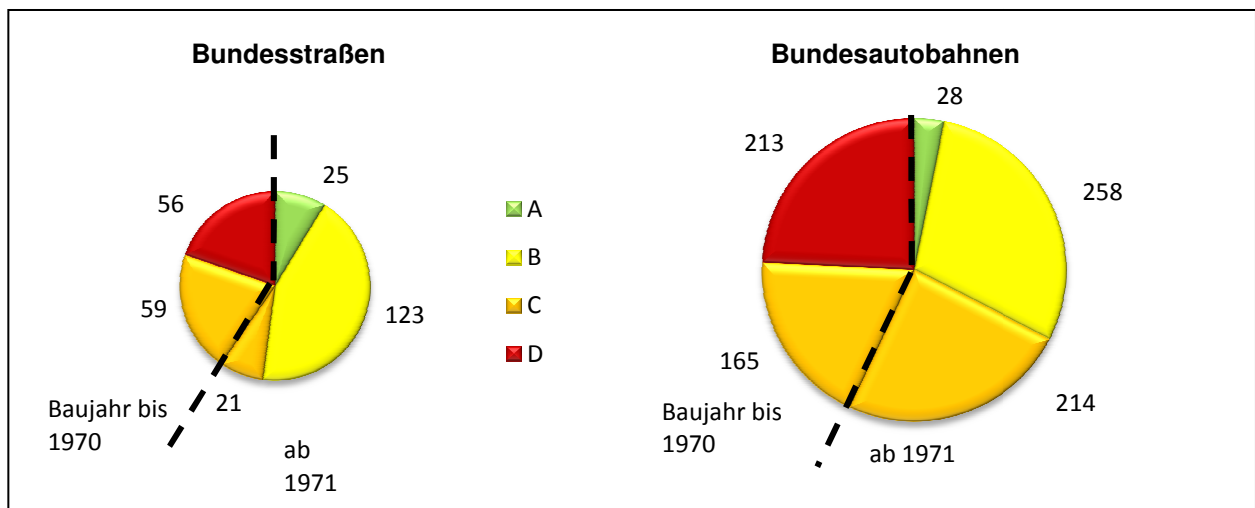
Die Summe der Fläche der in Klasse D eingestuft Bauwerke beträgt etwa 0,27 Mio m<sup>2</sup> und entspricht rund 23% des gesamten Bestandes der Stahlbrücken. Die Bauwerke im Zuge von Bundesstraßen sind hier in einem ähnlichen Maße betroffen wie die von Bundesautobahnen (Bild 21). Es ist davon auszugehen, dass in den nächsten Jahren für einen nicht unwesentlichen Anteil davon mehr oder weniger umfangreiche Erhaltungs- und Erweiterungsmaßnahmen erforderlich werden.

	bis 1960	1961-1970	1971-1980	1981-1990	1991-2000	2001-2010	2011-2015	Σ
1,0 – 1,4	0	7	40	3	4	10	4	68
1,5 – 1,9	8	11	35	14	14	1	0	83
2,0 – 2,4	30	109	122	14	13	12	0	300
2,5 – 2,9	0	113	76	21	11	0	0	221
3,0 – 3,4	0	90	33	32	15	0	0	170
3,5 – 4,0	0	10	28	0	0	0	0	38
Σ	38	340	334	84	57	23	4	880

**Tabelle 1:** Brückenfläche und Klassifizierung bestehender Stahlbrücken im Zuge von Bundesautobahnen  
(Brückenfläche in [Tsd. m<sup>2</sup>]; Klassifizierung: A: ■ B: ■; C: ■; D: ■)

	bis 1960	1961-1970	1971-1980	1981-1990	1991-2000	2001-2010	2011-2015	Σ
1,0 – 1,4	1	3	12	0	3	10	2	31
1,5 – 1,9	5	29	25	11	16	12	0	98
2,0 – 2,4	0	22	44	10	1	0	0	77
2,5 – 2,9	10	24	10	11	0	0	0	55
3,0 – 3,4	0	14	0	0	0	0	0	14
3,5 – 4,0	0	7	0	0	0	0	0	7
Σ	16	99	91	32	20	22	2	283

**Tabelle 2:** Brückenfläche und Klassifizierung bestehender Stahlbrücken im Zuge von Bundesstraßen  
(Brückenfläche in [Tsd. m<sup>2</sup>]; Klassifizierung: A: ■ B: ■; C: ■; D: ■)



**Bild 21:** Brückenfläche [Tsd. m<sup>2</sup>] und Klassifizierung der Stahlbrücken im Zuge von Bundesfernstraßen  
(Brückenfläche in Tsd. m<sup>2</sup>; Baujahr bis incl. 2015)

<b>Bauliche / betriebliche Maßnahmen im Brücken- und Ingenieurbau</b> (entsprechend ASB-ING)	<b>Neubau</b>			
	<b>Erweiterung (Umbau / Ausbau)</b> (mit kapazitiver Erweiterung)	<b>Bauwerkserneuerung / Ersatzneubau</b>		
		<b>Verbreiterung</b>		
		<b>Überbauerneuerung</b>		
		<b>Tragfähigkeitserhöhung</b>		
	<b>Erhaltung</b> (ohne kapazitive Erweiterung)	<b>Bauwerkserneuerung / Ersatzneubau</b>		
		<b>Verbreiterung</b>		
		<b>Überbauerneuerung</b>		
		<b>Verstärkung</b>		
		<b>Instandsetzung</b>		
<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="text-align: center;"><b>Bauwerks- unterhaltung</b></td> <td style="text-align: center;"><b>Bauliche Unterhaltung</b></td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;"><b>Betriebliche Unterhaltung</b></td> </tr> </table>		<b>Bauwerks- unterhaltung</b>	<b>Bauliche Unterhaltung</b>	
<b>Bauwerks- unterhaltung</b>	<b>Bauliche Unterhaltung</b>			
	<b>Betriebliche Unterhaltung</b>			

**Tabelle 3:** Bauliche / betriebliche Maßnahmen im Brücken- und Ingenieurbau entsprechend ASB-ING [13]

## 4 Erhaltung und Erweiterung

### 4.1 Allgemein

Gemäß der Anweisung Straßeninformationsdatenbank Teilsystem Bauwerksdaten – B. Bauwerksdaten (ASB-ING) [13] werden bei den baulichen und betrieblichen Maßnahmen im Brücken- und Ingenieurbau der Neubau, die Erweiterung und die Erhaltung unterschieden (Tabelle 3). Im Gegensatz zum Neubau setzen Erweiterung und Erhaltung die Existenz eines Vorläuferbauwerkes voraus. Die Erweiterung ist definiert als bauliche Veränderung zur Erhöhung der Leistungsfähigkeit des Bauwerks hinsichtlich Tragfähigkeit und Geometrie. Die Erhaltung hingegen beinhaltet Maßnahmen zur Wiederherstellung bzw. Sicherstellung der Standsicherheit, Verkehrssicherheit bzw. Dauerhaftigkeit ohne kapazitive Erweiterung.

im Rahmen der vorliegenden Studie stehen vor allem die in der Tabelle 3 grün markierten Maßnahmen Tragfähigkeitserhöhung, Instandsetzung und Verstärkung im Fokus. Darüber hinaus wird auch kurz auf den Ersatzneubau und die Nachrechnung eingegangen.

### 4.2 Nachrechnung

#### 4.2.1 Allgemein

Im Vorfeld von Reparatur- und Verstärkungsmaßnahmen sind rechnerische Nachweise meist unverzichtbar. Dabei kann es sich um eine ausschließlich rechnerische Betrachtung handeln, um den Nachweis der Wirksamkeit von bestimmten

Maßnahmen oder um die Entscheidungsgrundlage für einen Ersatzneubau.

Neben den einschlägigen Bemessungsvorschriften (DIN-EN 1991-2 und DIN-EN 1993-2) stehen hierfür die „Richtlinie für die Nachrechnung bestehender Straßenbrücken“ [14] und der Bericht „Assessment of Existing Steel Structures: Recommendations for Estimation of Remaining Fatigue Life“ [15] als Hilfsmittel zur Verfügung.

#### 4.2.2 Richtlinie für die Nachrechnung bestehender Straßenbrücken

Die „Richtlinie für die Nachrechnung bestehender Straßenbrücken“ [14] beinhaltet ein gestuftes Vorgehen zur Bewertung der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit. Ausgehend von Stufe 1, Standardberechnung nach Eurocode, wie bei Neubauten, ohne Einschränkung der Restnutzungsdauer führen bei den weiteren Stufen Modifikationen an den Nachweisen, den Einwirkungen oder den Teilsicherheitsbeiwerten zu Einschränkungen der Restnutzungsdauer und ggf. zu Kompensationsmaßnahmen (z.B. Überhohlvorbot, Geschwindigkeitsbegrenzung, reduzierte Intervalle für die Brückenprüfung etc.). Insbesondere werden in der Richtlinie die notwendigen Rahmenbedingungen für die Berechnung von Brücken der Brückensklasse 60 und 60/30 aufgezeigt. Während das Grundkonzept bauartübergreifend Gültigkeit besitzt, werden für die Nachrechnung von Stahl- und Stahlverbundbrücken spezifische Hinweise für den Grenzzustand der Tragfähigkeit, für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit und für die Werkstoffermüdung gegeben.

stat. System	Querschnitt	Zeitskala	1978	1974	1970	1969	1967	1960
		zu erwartende Defizite						
Einfeldträger	offener Querschnitt	Beulen Stegblech	■	■	■	■	■	■
		Beulen Bodenblech	■	■	■	■	■	■
		Vergleichsspannung Stegblech	■	■	■	■	■	■
		Orthotrope Fahrbahnplatte Ermüdung	■	■	■	■	■	■
		Stabilität Hauptträgeruntergurte	■	■	■	■	■	■
		Montagestöße	■	■	■	■	■	■
		Schweißnähte	■	■	■	■	■	■
	geschlossener Querschnitt	Beulen Stegblech	■	■	■	■	■	■
		Beulen Bodenblech	■	■	■	■	■	■
		Vergleichsspannung Stegblech	■	■	■	■	■	■
		Orthotrope Fahrbahnplatte Ermüdung	■	■	■	■	■	■
		Stabilität Hauptträgeruntergurte	■	■	■	■	■	■
		Montagestöße	■	■	■	■	■	■
		Schweißnähte	■	■	■	■	■	■
Durchlaufträger	offener Querschnitt	Beulen Stegblech	■	■	■	■	■	■
		Beulen Bodenblech	■	■	■	■	■	■
		Vergleichsspannung Stegblech	■	■	■	■	■	■
		Orthotrope Fahrbahnplatte Ermüdung	■	■	■	■	■	■
		Stabilität Hauptträgeruntergurte	■	■	■	■	■	■
		Montagestöße	■	■	■	■	■	■
		Schweißnähte	■	■	■	■	■	■
	geschlossener Querschnitt	Beulen Stegblech	■	■	■	■	■	■
		Beulen Bodenblech	■	■	■	■	■	■
		Vergleichsspannung Stegblech	■	■	■	■	■	■
		Orthotrope Fahrbahnplatte Ermüdung	■	■	■	■	■	■
		Stabilität Hauptträgeruntergurte	■	■	■	■	■	■
		Montagestöße	■	■	■	■	■	■
		Schweißnähte	■	■	■	■	■	■

**Tabelle 4:** Bewertungsmatrix zur Beurteilung der Defizitgefährdung bei Brücken in Stahlbauweise (Auszug) [17]

■: Defizit unwahrscheinlich; ■: Defizit wahrscheinlich; ■: Defizit höchstwahrscheinlich

Im Rahmen von zwei Forschungsprojekten wurde die Nachrechnung von Stahl- und Verbundbrücken untersucht [16], [17]. Das erste Projekt behandelt insbesondere die Restnutzung der Bauwerke. Als wesentliches Ergebnis wird gezeigt, dass sich die Berücksichtigung objektspezifischer Verkehrs- und Messdaten entscheidend auf den Erfolg beim Nachweis der Ermüdungssicherheit auswirken kann. Das zweite Projekt beinhaltet eine systematische Datenauswertung nachgerechneter Bauwerke. Die dabei gewonnenen Erkenntnisse sind in einen Leitfaden zur vereinfachten Tragwerksbeurteilung im Vorfeld einer Nachrechnung eingeflossen (Tabelle 4). Die Ergebnisse aus beiden Projekten sollten bei der Fortschreibung der Nachrechnungsrichtlinie berücksichtigt werden.

#### 4.2.3 Abschätzung der Restlebensdauer

Der gemeinsam von der Kommission der EU und der EKS veröffentlichte Bericht „Assessment of

Existing Steel Structures: Recommendations for Estimation of Remaining Fatigue Life“ [15] bildet eine Grundlage für die Weiterentwicklung der Eurocodes für das Bauen im Bestand. Als zentrales Thema werden Empfehlungen für den Nachweis der Restnutzungsdauer bestehender Stahlbrücken gegeben. Der Prozess ist in vier Phasen unterteilt.

Phase 1: Voruntersuchung,

Phase 2: Detailuntersuchung,

Phase 3: Fachuntersuchung,

Phase 4: Ertüchtigungsmaßnahmen.

Der Bericht dient als Hintergrundpapier und lässt sich aufgrund des allgemeinen Charakters nicht ohne weiteres für konkrete Maßnahmen bei Straßenbrücken in Deutschland anwenden. Zielführend wäre es, dieses Werk mit der Richtlinie für die Nachrechnung bestehender Straßenbrücken zusammenzuführen.



## 4.3 Instandsetzung und Verstärkung

### 4.3.1 Allgemein

Instandsetzungs- und Verstärkungsmaßnahmen dienen dazu, den Ursprungszustand eines Bauwerks wieder herzustellen. Beim Überbau von Stahlbrücken betrifft dies (neben der Erneuerung des Korrosionsschutzes) insbesondere die Reparatur von Rissen in Schweißnähten oder Blechen. Gesammelte Erfahrungen aus bisher durchgeführten Reparaturen sind über den Arbeitskreis AG A5 „Schweißen im Bauwesen“ in das DVS-Merkblatt 1709 „Instandsetzung und Verstärkung orthotroper Fahrbahnplatten“ [18] eingeflossen, in dem aus schweißtechnischer Sicht Empfehlungen für die Durchführung von Instandsetzungsmaßnahmen gegeben werden. Darüber hinaus gibt es neu entwickelte Methoden der Schweißnahtnachbehandlung, die eine vielversprechende Ergänzung der Schweißnahtinstandsetzungen darstellen.

### 4.3.2 DVS-Merkblatt

Das DVS-Merkblatt 1709 „Instandsetzung und Verstärkung orthotroper Fahrbahnplatten“ [18] enthält Empfehlungen und Grundsätze für die Durchführung von Instandsetzungs- und Verstärkungsmaßnahmen an orthotropen Fahrbahnplatten von bestehenden Stahlbrücken. Im Wesentlichen sind die Planung, die Ausführung und die Qualitätssicherung von schweißtechnischen Maßnahmen beschrieben.

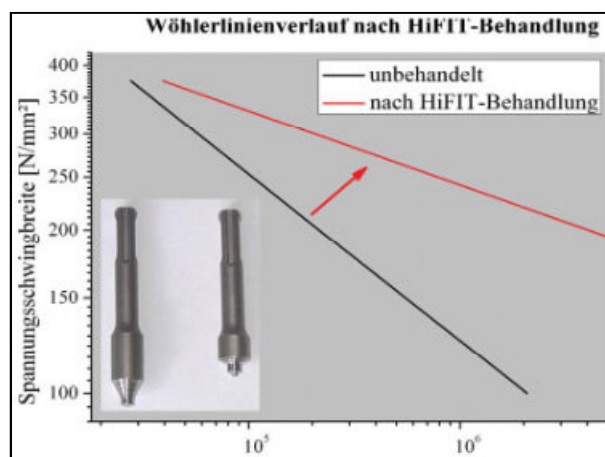
Von besonderem Interesse für die Praxis sind die Vorschläge für die Detailausführung der Instandsetzungs- und Verstärkungsmaßnahmen bei folgenden Schäden:

- Deckblechriefen,
- Risse in der Verbindungsnaht zwischen Längsrippe und Deckblech,
- Risse in der Verbindungsnaht zwischen Längsrippe und Querträgerstegblech.

Derzeit wird an einer Aktualisierung und Neuauflage des DVS-Merkblatts 1709 gearbeitet. Die Veröffentlichung soll im 1. Halbjahr 2018 erfolgen.

### 4.3.3 Schweißnahtnachbehandlung

Durch die Anwendung von Schweißnahtnachbehandlungsmethoden kann die Ermüdungsfestigkeit von Schweißverbindungen gesteigert werden. Diese Steigerung beruht sowohl auf der Reduktion der durch die geometrischen Kerben der Nahtübergänge verursachten lokalen Spannungs-



**Bild 22:** Erhöhung der Ermüdungsfestigkeit durch hochfrequente Nachbehandlungsverfahren [20]

spitzen durch lokale plastische Nachverformung als auch auf der Erhöhung des an dieser Stelle wirksamen Rissbildungswiderstandes durch Gefügeverbesserung und Einbringung eines Druckeigen Spannungszustandes.

Als besonders erfolgversprechendes Schweißnahtnachbehandlungsverfahren ist das Hochfrequenzhämmern anzusehen. Untersuchungen im Rahmen des vom BMBF geförderten Projekts REFRESH „Lebensdauererlängerung neuer und bestehender geschweißter Stahlkonstruktionen“ [19] zeigen, dass eine deutliche Steigerung der Ermüdungsfestigkeit erreicht werden kann (Bild 22).

Allerdings muss sichergestellt sein, dass die Ermüdungsrissbildung nicht an anderen kritischen Kerbstellen beginnt, die von der Nachbehandlung nicht erfasst werden können, wie z. B. dem Wurzelspalt bei Kehlnähten. Eine Verbesserung der Ermüdungsfestigkeit ist folglich nur an Stellen möglich, wo der Riss von der zugänglichen Nahtoberfläche ausgeht. Inwiefern hochfrequente Nachbehandlungsverfahren für die Instandsetzung orthotroper Platten geeignet sind, sollte daher noch genauer untersucht werden.

## 4.4 Tragfähigkeitserhöhung

### 4.4.1 Allgemein

Gemäß ASB-ING [13] beinhaltet eine Tragfähigkeitserhöhung bauliche Maßnahmen zur Erhöhung der Tragfähigkeit gegenüber der ursprünglichen Bemessung.

Da derartige Maßnahmen bisher nur objektbezogen ausgeführt wurden, ist es aktuell nur eingeschränkt möglich, den Straßenbauverwaltungen

der Länder konkrete Empfehlung mit allgemeingültigen Lösungen an die Hand zu geben. Erste Konzepte und Forschungsergebnisse lassen sich den Gefährdungskategorien gemäß Kapitel 1.2 (Bilder 4 bis 8) zuordnen. In den folgenden Kapiteln wird der aktuelle Stand von Forschung und Technik zusammengefasst.

#### 4.4.2 Gefährdungskategorie 1

Die Gefährdungskategorie 1 betrifft die Verbindung des Deckblechs mit den Längsrippenstegen (Bild 5). An dieser Stelle können Schäden ohne einen Bezug zu bestimmten Ausführungsformen der Rippen und Querträger auftreten. Da sich Kategorie-1-Schäden direkt auf die Nutzbarkeit der Brücke auswirken können (wie eingeschränkte Befahrbarkeit bei Belagsschäden und Deckblechrissen), erhalten effiziente Maßnahmen zur Vermeidung solcher Schäden eine übergeordnete Bedeutung [21].

Im Rahmen des Forschungsprojekts „Nachhaltige Instandsetzung und Verstärkung von orthotropen Fahrbahnplatten von Stahlbrücken unter Berücksichtigung des Belagssystems“ [2] wurden vier verschiedene Varianten näher untersucht und gegenübergestellt. Als gemeinsames Kennzeichen erfolgt eine Verstärkung des Deckblechs „von Oben“, um eine Reduktion der lokalen Spannungen und Durchbiegungen zu erreichen. Anstelle von Schweißungen wird dabei auf adhäsive Verbindungen gesetzt, um in die orthotrope Platte keine Wärmeenergie einzubringen, die zusätzliche Schrumpfspannungen und damit Risse an bestehenden Schweißanschlüssen erzeugen würde. Die einzelnen Maßnahmen SPS, hochfester Beton, aufgeklebte Bleche und HANV werden im Folgenden zusammenfassend erläutert:

#### SPS

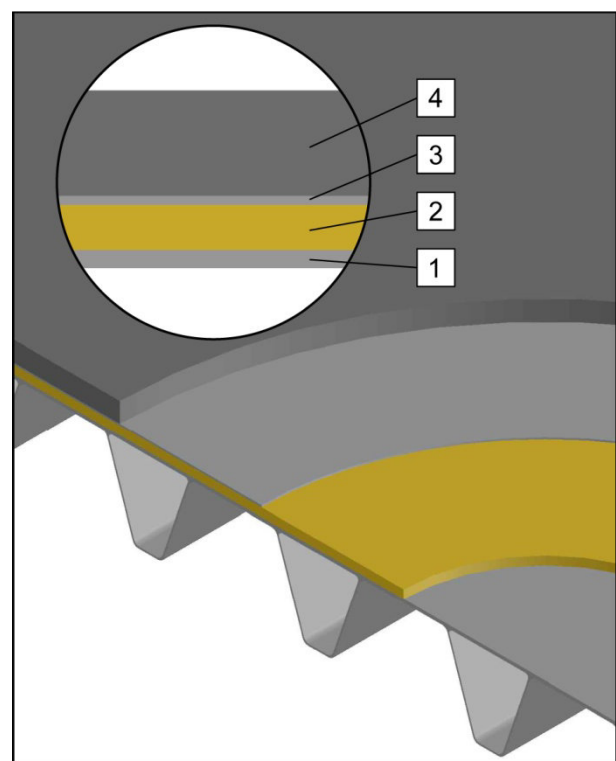
Bei Verstärkungsmaßnahmen mit dem sogenannten Sandwich-Platten-System (SPS) wird ein Verstärkungsblech parallel zum vorhandenen Deckblech positioniert und der entstandene Hohlraum zwischen den beiden Blechen mit flüssigem Polyurethan (PUR) verfüllt. Durch das anschließende Erhitzen des Polyurethankerns bildet sich mit dem vorhandenen Deckblech und dem neuen Deckblech ein tragendes Sandwich (siehe Bild 24).

Im Rahmen eines Pilotprojekts wurde das SPS als Verstärkungsmaßnahme im Straßenbrückenbau im Jahr 2005 auf der Schönwasserparkbrücke im Zuge der BAB 57 bei Krefeld eingesetzt. Die Abwicklung erfolgte ohne größere Probleme, abgesehen von zeitlichen Verzögerungen, die u.a. auch mit dem ehrgeizigen Zeitplan zusammenhängen.

Aufgrund der erzielten Spannungsreduktion (50%) und der dadurch bedingten Nutzungsdauersteigerung wird die Maßnahme als erfolgreich bewertet [22], [23]. Eine erneute Überprüfung nach über 10 Jahren Standzeit unter Verkehr erfolgt im Auftrag der Autobahnunterhaltung Krefeld voraussichtlich im Winter 2017/2018.

Das SPS kam auch bei der Instandsetzung der Hängebrücke über die Saar bei Mettlach und im Rahmen der Baumaßnahme an der Brücke „Grand-Duchesse Charlotte“ in Luxemburg zur Anwendung [24].

Der Nachteil bei einer Verstärkung mit SPS besteht darin, dass sich beim normgerechten Einsatz des Fahrbahnbelags das Niveau der neuen Fahrbahnoberkante gegenüber der ursprünglichen Gradiente um etwa 35 mm erhöht. Dadurch können weitere Arbeiten erforderlich werden, wie z. B. eine Erhöhung der Schrammborde oder eine Anpassung der Fahrbahnübergänge. Der zusätzliche Aufwand ließe sich vermeiden, indem man auf den Einbau der Schutzschicht verzichtet. Dies wäre allerdings mit einer signifikanten Reduzierung der Lebensdauer des Fahrbahnbelags verbunden, so dass diese Variante nur in begründeten Ausnahmefällen in Betracht gezogen werden sollte.

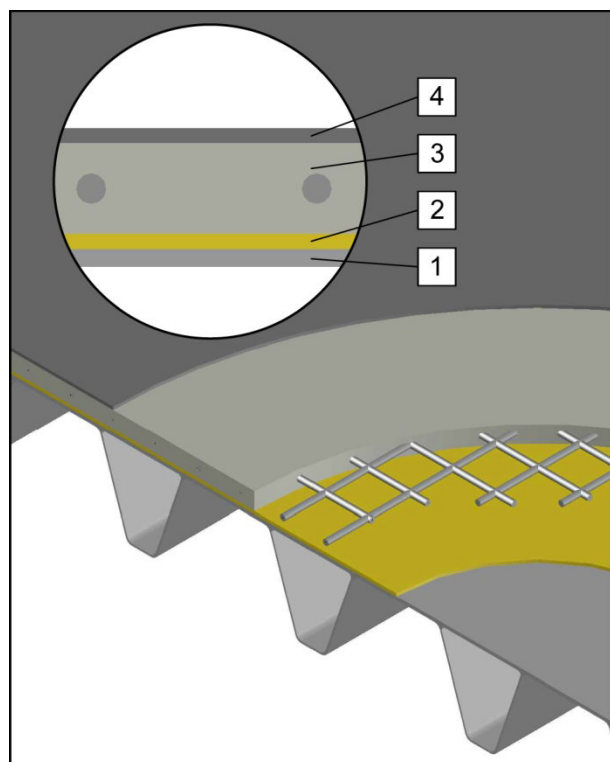


**Bild 24:** Prinzip des SPS-Verfahrens im Brückenbau: 12 mm Stahldeckblech (1); 30 mm Polyurethan (2); 6 mm Verstärkungsblech (3); 80 mm Asphaltbelag (4)

### Hochfester Beton mit Stahlfasern

Diese Maßnahme basiert darauf, den Fahrbelag möglichst ganz durch eine im festen Schubverbund mit dem Deckblech mitwirkende Schicht aus stahlfaserverstärktem, bewehrtem hochfestem Beton zu ersetzen (Bild 25). Diese Lösung wurde in den Niederlanden zur Ausführungsreife entwickelt und dort bereits im Rahmen mehrerer Pilotprojekte eingesetzt. Der Verbund zwischen Stahldeckblech und Beton erfolgt über eine zuvor verklebte Splittschicht. Um die Wirksamkeit der Methode zu gewährleisten ist eine hohe Ausführungsqualität erforderlich, und es müssen zusätzliche Maßnahmen ergriffen werden, um eine ausreichende Ebenheit und Griffigkeit zu erreichen.

Im Rahmen eines Pilotprojekts wurde hochfester Beton mit Stahlfasern als Verstärkungsmaßnahme im Straßenbrückenbau im Jahr 2014 auf einer Bahnquerung im Zuge der Landesstraße L 1239 in Beimerstetten eingesetzt. Der anspruchsvolle Einbau erfolgte unter erschwerten Bedingungen in einer Einhausung mit einer großen Anzahl von qualifiziertem Personal. Ein Abgleich von baubegleitend durchgeführten Mess- und Rechenergebnissen lässt auf einen vollen Verbund zwischen Stahldeckblech und Beton zum Zeitpunkt der Messung schließen [25].



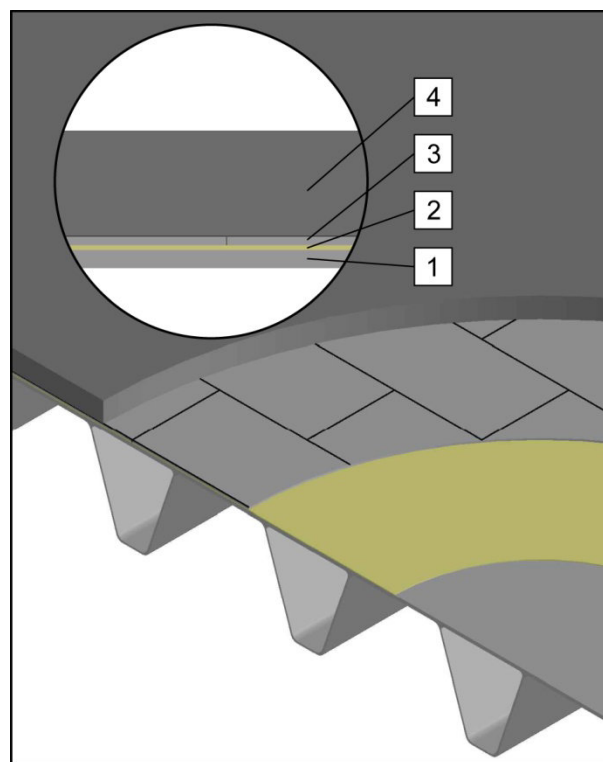
**Bild 25:** Hochfester Beton mit Stahlfasern: 12 mm Stahldeckblech (1); 10 mm mit Bauxit abgestreutes Epoxidharz (2); 60 mm, hochfester Beton (3); 10 mm reaktionsharz-gebundener Dünnbelag (4)

Die gewonnenen Erkenntnisse dienen als Grundlage für den Einsatz dieses Verfahrens bei der Verstärkung der Rheinbrücke Maxau im Zuge der BAB 10 in Karlsruhe.

### Aufgeklebte Bleche

Bei dieser Verstärkungsvariante werden Stahlbleche zwischen dem Deckblech und dem Fahrbelag angeordnet (Bild 26). Die beabsichtigte Wirkung kann jedoch nur erzielt werden, wenn es gelingt, eine vollflächige, kraftschlüssige und dauerhafte Verbindung 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.

Im Rahmen von bei der BASt laufenden Forschungsprojekten werden die Möglichkeiten der Verstärkung des Deckblechs durch aufgeklebte Bleche untersucht [21]. Das Ziel ist es, den klebtechnischen Prozess auf die speziellen Rahmenbedingungen abzustimmen, die bei der Instandsetzung von orthotropen Fahrbelagplatten bestehen. Wenngleich die grundsätzliche Anwendbarkeit mittlerweile nachgewiesen ist, werden im Vorfeld einer möglichen Pilotanwendung noch Untersuchungen zur baupraktischen Ausführung durchgeführt.



**Bild 26:** Aufgeklebte Bleche: 12 mm Stahldeckblech (1); 3 mm Epoxidharz (2); 6 mm Verstärkungsblech (3); 80 mm Asphaltbelag (4)

## HANV

Hinter dem Begriff HANV verbirgt sich ein hohlraumreiches Asphalttraggerüst (bestehend aus Gesteinskörnungen mit einer Sieblinie mit Ausfallkörnung und einem zur Verklebung der Gesteine ausreichenden Bindemittelgehalt), bei welchem die Hohlräume nachträglich durch ein flexibilisiertes Epoxidharz verfüllt werden (**Hohlraumreiches Asphalttraggerüst mit Nachträglicher Verfüllung**) (Bild 27). Die Maßnahme basiert darauf, den herkömmlichen Fahrbahnbelag durch HANV zu ersetzen, wodurch einerseits eine höhere Steifigkeit und Verformungsbeständigkeit bei höheren Temperaturen erreicht werden soll und andererseits eine ausreichende Elastizität bei tiefen Temperaturen (damit Verformungen ohne Risse aufgenommen werden können).



Bild 27: HANV Probekörper

Im Rahmen des Forschungsprojekts „HANV als Verstärkung von Stahlbrücken mit Kategorie-1-Schäden“ [26] wurden numerische und experimentelle Untersuchungen durchgeführt, um die erhöhte mittragende Wirkung nachzuweisen.

Auf Grundlage der experimentellen Untersuchungen ließen sich lediglich erste Tendenzen zur Erhöhung der mittragenden Wirkung ableiten. Der geringe Prüfumfang von zwei Prüfkörpern je Variante und die teilweise starken Streuungen in den Versuchsergebnissen ließen keine quantitative Bewertung der Ergebnisse zu. Die numerischen Untersuchungen an einem 3D-Finite-Elemente-Modell ergaben, dass sich durch eine höhere Asphaltsteifigkeit die Spannungen im Deckblech theoretisch um bis zu 40% reduzieren lassen.

### 4.4.2 Gefährdungskategorie 2

Die Gefährdungskategorie 2 betrifft die Anschlüsse im Längssystem (Bild 6), wo Schäden in der Regel einen Bezug zu einem bestimmten Detail oder einer Bauart der orthotropen Fahrbahnplatte aufweisen. Bisher wurden bei solchen Schäden meist objektspezifische Maßnahmen ergriffen.

Im Rahmen des Forschungsprojekts „Verstärkung von Stahlbrücken mit Kategorie-2-Schäden“ [27] wurden für Stahlbrücken mit Längssteifen aus Y-Profilen erstmals derartige Schäden kategorisiert und entsprechende Maßnahmen experimentell und numerisch untersucht.

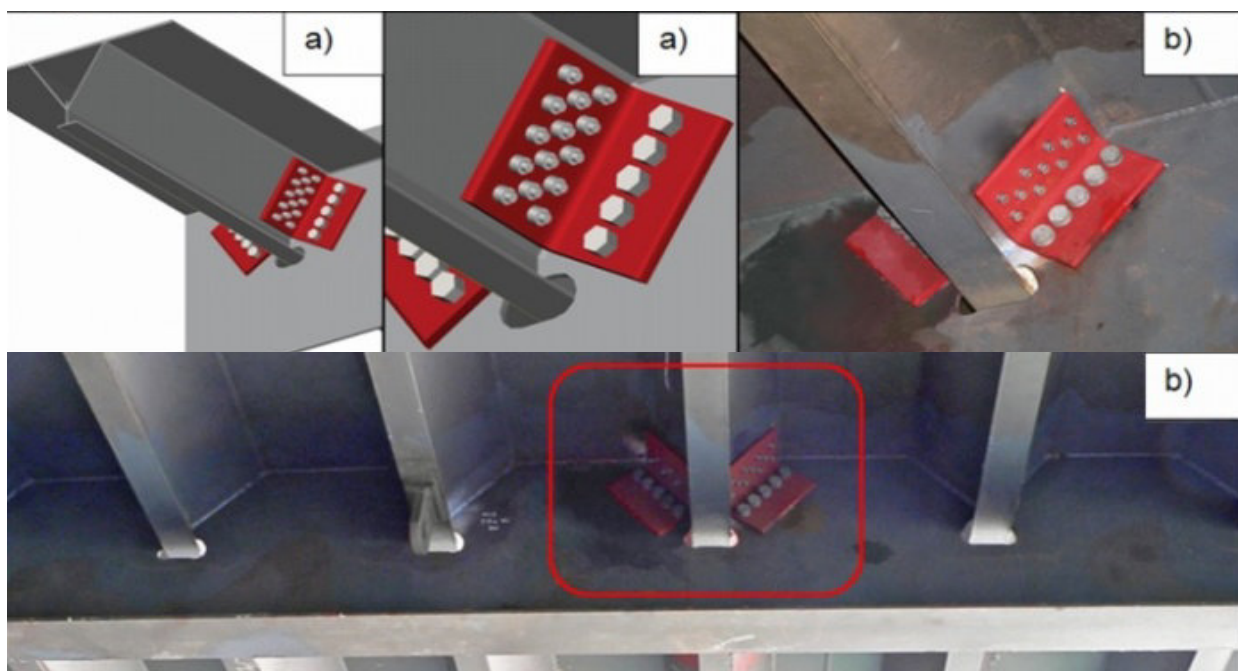


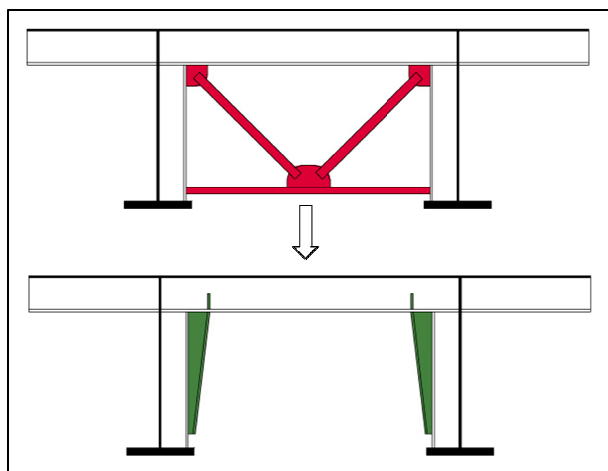
Bild 28: Verstärkung des Anschlusses der Längssteifen an den Querträger: erst in der Forschung (a), dann in der Praxis (b)

Da sich rein schweißtechnische Instandsetzungen auf die Dauer als nicht erfolgreich erwiesen, fiel die Wahl auf Maßnahmen mit mechanischen Verbindungsmitteln. Gute Ergebnisse erzielt beispielsweise eine Verstärkung mit Seitenwinkel, wobei die Befestigung im geschlossenen Teil der Y-Profile mit Blindnieten erfolgt (Bild 28). Es existieren Bestrebungen, vergleichbare Untersuchungen für Stahlbrücken mit Trapezsteifen durchzuführen.

#### 4.4.3 Gefährdungskategorie 3

Die Gefährdungskategorie 3 betrifft die Anschlüsse im Quersystem (Bild 7), wie zum Beispiel Rahmenecken von Querträgern. Bei einigen Stahlbrücken sind inzwischen auch an diesen Anschlüssen Ermüdungsschäden festgestellt worden, die wiederum umfangreiche Maßnahmen zur Folge haben. Ähnlich wie bei der Gefährdungskategorie 2 haben auch Kategorie-3-Schäden meist einen Bezug zu einem bestimmten Detail oder einer Bauart und wurden bisher in aller Regel mit objektspezifischen Maßnahmen behoben.

Im Rahmen des Forschungsprojekts „Verstärkung von Stahlbrücken mit Kategorie-3-Schäden“ [28] wurden erstmals derartige Schäden kategorisiert und entsprechende Maßnahmen experimentell und numerisch untersucht. Dabei zeigte sich, dass eine möglichst gleichmäßige Steifigkeitsverteilung im Aussteifungssystem anzustreben ist. Aber auch mit verkehrsleitenden Maßnahmen wie einer Fahrstreifenverlegung lassen sich die kritischen Beanspruchungen u.U. deutlich reduzieren. Ein besonderes Augenmerk wird auf die Maßnahme gelegt, vollständig auf aussteifende Verbände zu verzichten (Bild 29).



**Bild 29:** Erfolg versprechende Maßnahme bei Kategorie-3-Schäden: ursprünglicher Querschnitt mit Verbänden in rot, die entfernt werden (oben), neuer Querschnitt mit verstärkenden Bauteilen in grün (unten) [28]

## 4.5 Ersatzneubau

Aufgrund von Alterungsprozessen und Materialermüdung ist die Lebensdauer von Brücken begrenzt. Das bedeutet, dass für jedes Bauwerk früher oder später ein Ersatzneubau erforderlich wird (sofern der entsprechende Verkehrsweg bestehen bleiben soll). Infolge der eingangs erläuterten Zunahme der Verkehrsbelastung (Abschnitt 3.2) ist es absehbar, dass dies in vielen Fällen vor Ablauf der ursprünglich vorgesehenen Lebensdauer von 100 Jahren erfolgen muss. Gemäß den Richtlinien für die Erhaltung für Ingenieurbauten [29] wird ein kritischer Punkt erreicht, wenn das Auftragsvolumen geplanter Erhaltungsmaßnahmen 50% der reinen Baukosten des Bauwerks zum heutigen Preisstand übersteigt.

Wenn die Entscheidung für einen Ersatzneubau fällt, dauert es aufgrund der in Deutschland üblichen baurechtlichen Bestimmungen mehrere Jahre, bevor mit den Bauarbeiten begonnen werden kann. Bis zur Verkehrsfreigabe addieren sich dazu objektabhängig noch mehrere Jahre Bauzeit. In aller Regel ist es in der Zwischenzeit erforderlich, den Betrieb der bestehenden Brücke trotz eingeschränkter Zuverlässigkeit so weit wie möglich aufrecht zu erhalten. Neben den in den Abschnitten 4.3 und 4.4 vorgestellten Maßnahmen besteht die Möglichkeit, vorhandene Defizite durch kontinuierliches Monitoring zu kompensieren. Zu dieser Thematik befinden sich derzeit mehrere Forschungsprojekte in Vorbereitung, auf die im Rahmen des vorliegenden Berichts jedoch nicht näher eingegangen wird.

## 4.6 Schlussfolgerung

Die Erhaltung und Erweiterung bestehender Brücken wird in den nächsten Jahren mit großer Wahrscheinlichkeit weiter an Bedeutung gewinnen. Wenngleich mittlerweile einige Grundlagen zur Instandsetzung, Verstärkung und Tragfähigkeitserhöhung existieren, besteht im Bereich des Stahlbrückenbaus noch immer ein großes Forschungs- und Entwicklungspotential.

Mit der Fortschreibung der Regelungen zur Nachrechnung bestehender Bauwerke erhält die Praxis verbesserte Werkzeuge, um eine zielführende Vorgehensweise beim Umgang mit ertüchtigungsbedürftigen Stahlbrücken im Bestand zu gewährleisten.

Bei den Instandsetzungs- und Verstärkungsmaßnahmen können die Anwender bereits auf einige bewährte Lösungen zurückgreifen. Eine innovative Methode stellen hochfrequente Hämmerverfahren

im Zuge der Schweißnahtnachbehandlung dar, die im Bereich des Stahlbrückenbaus jedoch noch einer Erprobung bedürfen. Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass in vielen Fällen eine reine Erhaltung nicht ausreicht und zusätzlich eine Erhöhung der Tragfähigkeit erforderlich wird.

Mit den Verfahren „SPS“ und „hochfester Beton mit Stahlfasern“ stehen praxiserprobte Lösungsmöglichkeiten zur Tragfähigkeitserhöhung im Falle von Kategorie-1-Schäden zur Verfügung. Auch bei den Maßnahmen „aufgeklebte Bleche“ und „HANV“ handelt es sich um vielversprechende Varianten, bei denen jedoch die Entwicklung noch nicht abgeschlossen ist. Bezüglich Schäden der Kategorie 2 und 3 liegen Forschungsergebnisse vor, die beginnend mit der Erfassung und Zusammenstellung bekannter Schäden über die wissenschaftlich-technische Analyse der Schadensursachen bis hin zur Entwicklung von Maßnahmen zur Verstärkung und Tragfähigkeitserhöhung Handlungsempfehlungen zum Umgang mit diesen Schäden geben.

In vielen Fällen wird voraussichtlich ein Ersatzneubau erforderlich, bevor die ursprünglich vorgesehene Lebensdauer von 100 Jahren erreicht ist. In der Zeit bis zur Verkehrsfreigabe ist es meist erforderlich, den Betrieb der bestehenden Brücke unter Einschränkungen so weit wie möglich aufrecht zu erhalten. In diesem Zusammenhang wird das kontinuierliche Bauwerksmonitoring zunehmend an Bedeutung gewinnen.

Um die Einschränkungen für den Fernverkehr so weit wie möglich zu minimieren, bedarf es einer Koordinierung der verschiedenen Einzelmaßnahmen auf Netzebene.

## 5 Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen der Bestandsanalyse wird deutlich, dass die Einwirkungen auf Brücken im Laufe der Zeit deutlich angewachsen sind und dass sich dieser Trend voraussichtlich auch in der nahen bis mittleren Zukunft fortsetzt. Für den Neubau wird dieser Entwicklung mit der Einführung des neuen Lastmodells Rechnung getragen (wobei aktuell auch eine entsprechende Anpassung des Ermüdungslastmodells diskutiert wird). Bei den bestehenden Stahlbrücken jedoch lässt sich mit der wachsenden Verkehrsbelastung eine überproportionale Verschlechterung des Zustands der alternen Bauwerke feststellen. Insbesondere bei den Stahlbrücken im Zuge von Bundesautobahnen ist

in den nächsten Jahren von einem erheblichen Erhaltungs- und Erweiterungsbedarf auszugehen.

Dank der in den letzten Jahren geleisteten Forschungs- und Entwicklungsarbeit sind mittlerweile einige brauchbare Werkzeuge für die Erhaltung und Erweiterung bestehender Stahlbrücken nutzbar. Die Betrachtung unterschiedlicher Maßnahmen zur Instandsetzung, Verstärkung und Tragfähigkeitserhöhung zeigt jedoch, dass dabei das Potential bei weitem noch nicht ausgeschöpft ist und weiterhin erheblicher Forschungsbedarf besteht. Daher werden derzeit die Voraussetzungen dafür geschaffen, dass nach dem Rückbau der Rheinbrücke Leverkusen Bauteile für Forschungszwecke zur Verfügung stehen. Gleichzeitig befinden sich derzeit mehrere Forschungsprojekte in Vorbereitung, die darauf abzielen, vorhandene Defizite durch kontinuierliches Monitoring zu kompensieren.

Angesichts der komplexen Zusammenhänge zwischen dem altersbedingten Zustand der Bauwerke, der wachsenden Verkehrsbelastung und verschiedenen Maßnahmen zur Erhaltung und Erweiterung ist weiterhin eine intensive und enge Zusammenarbeit von Straßenbauverwaltung, Forschung und Industrie erforderlich, um die Verfügbarkeit der bestehenden Stahlbrücken sicherzustellen.

Zentrale Bedeutung haben in diesem Zusammenhang insbesondere die folgenden Punkte:

- Erfassung und Aufzeichnung der tatsächlichen ermüdungsrelevanten Einwirkungen (Lkw-Achslasten) auf Objektebene,
- Weiterentwicklung von Methoden zur Instandsetzung, Verstärkung und Tragfähigkeitserhöhung von defizitären Stahlbrücken,
- Verkürzung der Planungs- und Genehmigungsdauern beim Ersatzneubau,
- Aufrechterhaltung des Betriebs bestehender Brücken unter Einschränkungen,
- Koordinierung auf Netzebene.

## Literatur

- [1] Bundesverkehrswegeplan 2030, BMVI, Berlin, 2016.
- [2] 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; Heft B 76  
Fachverlag NW, 2010
- [3] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung  
Verkehrsinvestitionsbericht 2008
- [4] W. Buschmeyer, C. Roder, P. Haardt, P.J. Gusia  
Zum Verstärken von Betonbrücken der Bundesfernstraßen  
Bauingenieur Band 84, April 2009  
Springer VDI Verlag
- [5] 7. Änderungs-Verordnung zur Überführung des Lang-Lkw in den streckenbezogenen Regelbetrieb nach Auslaufen des Feldversuchs; 27.12.2016 BMVI
- [6] <http://www.intelligentebruecke.de>
- [7] DIN 1076: Ingenieurbauwerke im Zuge von Straßen und Wegen - Überwachung und Prüfung  
Beuth Verlag GmbH,  
Berlin 11/1999
- [8] E. Fiedler  
Die Entwicklung der orthotropen Fahrbahnplatte in Deutschland  
Stahlbau, 78. Jahrgang, August 2009  
Ernst & Sohn
- [9] DIN-EN 1993: Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten  
Beuth Verlag GmbH,  
Berlin
- [10] Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen für Kunstbauten (ZTV-K),  
Ausgabe 76
- [11] Pelikan, W., Esslinger, M.  
Die Stahlfahrbahn – Berechnung und Konstruktion  
MAN – Forschungsheft Nr. 7, 1957
- [12] DIN 18809  
Stählerne Straßen- und Wegbrücken - Bemessung, Konstruktion, Herstellung  
09/1987
- [13] ASB-ING: Anweisung Straßeninformationsbank Teilsystem Bauwerksdaten  
10/2013
- [14] G. Marzahn  
Richtlinie für die Nachrechnung bestehender Straßenbrücken  
Bauingenieur,  
Band 85  
Mai 2010
- [15] B. Kühn, M. Lukic, A. Nussbaumer, H.-P. Günther, R. Helmerich, S. Herion, M.H. Kolstein, S. Walbridge, B. Androic, O. Dijkstra, Ö. Bucak  
Assessment of Existing Steel Structures: Recommendations for Estimation of Remaining Fatigue Life  
JRC Scientific and Technical Reports  
February 2008
- [16] K. Geißler, S. Krohn  
Nachrechnung bestehender Stahl- und Verbundbrücken – Restnutzung  
BASt Schriftenreihe B; Heft B 123  
Fachverlag NW, 2016
- [17] W. Neumann, A. Brauer  
Nachrechnung von Stahl- und Verbundbrücken – Systematische Datenauswertung nachgerechneter Bauwerke  
BASt Schriftenreihe B; Heft B 1??  
Verkehrsblatt Verlag,  
Veröffentlichung voraussichtlich 2018
- [18] DVS, Ausschuss für Technik, Arbeitsgruppe "Schweißen im Bauwesen"  
Merkblatt DVS 1709  
Instandsetzung und Verstärkung orthotroper Fahrbahnplatten  
DVS Verlag GmbH,  
Düsseldorf Mai, 2008
- [19] T. Ummenhofer, S. Herion, S. Rack, I. Weich, G. Telljohann, S. Dannemeyer, H. Strohbach, H. Eslami-Chalandar, A. K. Kern, D. Pinkernell, M. Smida, U. Rahlf, B. Senk  
REFRESH – Lebensdauererweiterung bestehender und neuer geschweißter Stahlkonstruktionen  
Forschung für die Praxis D 761  
FOSTA -Forschungsvereinigung Stahlanwendung e.V.  
Verlag und Vertriebsgesellschaft mbH,  
Düsseldorf, 2010

- [20] T. Ummenhofer, I. Weich  
REFRESH – Lebensdauererlängerung bestehender und neuer geschweißter Stahlkonstruktionen  
Stahlbau 75 (2006), Heft 7  
Ernst & Sohn
- [21] N. Stranghöner, C. Lorenz, H. Friedrich  
Verstärkungsmaßnahmen für orthotrope Fahrbahnplatten mit Kategorie-1-Schäden  
Stahlbau 86 (2017), Heft 7  
Ernst & Sohn]
- [22] 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  
Ernst & Sohn
- [23] J. Matuschek, T. Stihl, S. Bild  
Verstärkung der orthotropen Stahlfahrbahn der Schönwasserparkbrücke mittels Stahl-Elastomer-Sandwich (SPS)  
Stahlbau 76 (2007), Heft 7  
Ernst & Sohn
- [24] H. Gesella, W. Schwarz, G. Didier:  
Planung und Ausschreibung der Ertüchtigung der Brücke Grande-Duchesse Charlott in Luxemburg mit neusten Technologien  
Stahlbau 82 (2016), Heft 4  
Ernst & Sohn
- [25] T. Mansperger, T. Lehmann, M. Hofmann,  
Verstärkung von Stahlbrücken mit hochfestem Beton  
BASt Schriftenreihe B; Heft B 137  
Fachverlag NW, 2017
- [26] N. Stranghöner, C. Lorenz, V. Raake, E. Straube, M. Knauff  
HANV als Verstärkung von Stahlbrücken mit Kategorie-1-Schäden  
BASt Schriftenreihe B; Heft B 136  
Fachverlag NW, 2017
- [27] U. Kuhlmann, M. Hubmann  
Verstärkung von Stahlbrücken mit Kategorie-2-Schäden  
BASt Schriftenreihe B; Heft B 127  
Fachverlag NW, 2016
- [28] D. Ungermann, B. Brune, P. Giese  
Verstärkung von Stahlbrücken mit Kategorie-3-Schäden  
BASt Schriftenreihe B; Heft B 128  
Fachverlag NW, 2016
- [29] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung  
Richtlinien für die Erhaltung für Ingenieurbauten (RI-ERH-ING) -Richtlinie zur Durchführung von Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen im Rahmen von Instandsetzungs-/Erneuerungsmaßnahmen bei Straßenbrücken (RI-WI-BRÜ)  
BASt-Homepage  
Regelwerke zum Download  
2007