



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN

FAKULTÄT BAUINGENIEURWESEN

25

9./10. März 2015

DRESDNER
BRÜCKENBAU
SYMPOSIUM



© 2015 Technische Universität Dresden

Alle Rechte vorbehalten. Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit schriftlicher Genehmigung des Herausgebers.

Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen, Handelsnamen oder sonstigen Kennzeichnungen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, dass diese von jedermann frei benutzt werden dürfen. Vielmehr kann es sich auch dann um eingetragene Warenzeichen oder sonstige gesetzlich geschützte Kennzeichen handeln, wenn sie als solche nicht eigens markiert sind.

Herausgeber: Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach
Technische Universität Dresden
Institut für Massivbau
01062 Dresden

Redaktion: Silke Scheerer
Angela Heller

Layout: Ammar Al-Jamous

Anzeigen: Harald Michler

Titelgestaltung: Ulrich van Stipriaan

Auflage: 1.500 Stück

Druck: addprint AG, Am Spitzberg 8a, 01728 Bannewitz / Possendorf

ISSN 1613-1169
ISBN 978-3-86780-421-9

Tagungsband

25. Dresdner Brückenbausymposium

Institut für Massivbau
Freunde des Bauingenieurwesens e. V.

09. und 10. März 2015

Inhaltsverzeichnis

0 Herzlich Willkommen zum 25. Dresdner Brückenbausymposium	
<i>Magnifizenz Prof. Dr.-Ing. habil. DEng/Auckland Hans Müller-Steinhagen</i>	11
1 Überall Brücken – von der Vielgestaltigkeit eines Gedankens	
<i>Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach</i>	15
2 Brückenbau in Deutschland – eine Auswahl zukünftiger Schwerpunkte	
<i>Dr.-Ing. Gero Andreas Marzahn</i>	33
3 25 Jahre Dresdner Brückenbausymposium – eine deutsche Erfolgsgeschichte	
<i>Prof. Dr.-Ing. Jürgen Stritzke</i>	37
4 Bridge Architecture – from Structure to Elegance	
<i>Dr. Michel Virlogeux</i>	63
5 Fußgängerbrücken – Entwurf und Konstruktion	
<i>Dipl.-Ing. Andreas Keil</i>	69
6 Schlanke vorgespannte Fußgängerbrücke aus Textilbeton	
<i>Univ.-Prof. Dr.-Ing. Josef Hegger, Dipl.-Ing. Sergej Rempel, Dr.-Ing. Christian Kulas</i>	83
7 Pilotanwendungen von Textilbeton für Verstärkungen im Brückenbau	
<i>Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Jürgen Feix, Dipl.-Ing. Dr. Mario Hansl</i>	99
8 Gustave Magnel – ein Wegbereiter der Spannbetonbauweise	
<i>Prof. dr. ir. Luc R. Taerwe</i>	113
9 Integrale Brücken im Wandel der Zeit	
<i>Prof. Dr.-Ing. Carl-Alexander Graubner, Jaroslav Kohoutek M.Sc.</i>	131
10 Dynamisch über das Saale-Elster-Tal – Bemessung und Konstruktion einer Stabbogenbrücke für den Eisenbahnhochgeschwindigkeitsverkehr	
<i>Dipl.-Ing. Rolf Jung, Dipl.-Ing. Tobias Mansperger</i>	151
11 Sicherung der Rheinbrücke Leverkusen – Von der Schadensaufnahme zum Instandsetzungsmanagement unter Berücksichtigung der Altstahlproblematik	
<i>Dr.-Ing. Gero Marzahn, Dr.-Ing. Markus Hamme, Dr.-Ing. Peter Langenberg, Prof. Dr.-Ing. Gerd Groten, Dipl.-Ing. Michael Paschen</i>	163
12 Friedrichsbrücke Berlin – Denkmalgerechte Erneuerung und Anpassung der Friedrichsbrücke über die Spree – die Verbindung von zwei verschiedenartigen Brückenkonstruktionen	
<i>Dipl.-Ing. Michael Hänig, Dipl.-Ing. (FH) Andreas Höregott, Dipl.-Ing. Andrea Thoms</i>	181
13 Egg-Graben-Brücke, Wildbrücke AM2, Lafnitzbrücke – Anwendung von neuen Bauverfahren für Brücken in Österreich	
<i>Prof. Dr.-Ing. Johann Kollegger, Dipl.-Ing. Sara Foremniak, Dipl.-Ing. Benjamin Kromoser</i>	193

14 Feuerverzinken im Brückenbau – Anwendung und aktuelle Forschungsergebnisse	
<i>Holger Glinde</i>	217
15 Das Schwergutgewerbe – Großraum- und Schwertransporte, Autokrane, Brückenbau	
<i>Dipl.-Ing. Wolfgang Draaf</i>	229
16 Massivbrücken unter extremen Wetterbedingungen	
<i>Dr.-Ing. Dirk Proske</i>	239
17 Brückenbauexkursion 2014 – Spurensuche in Deutschland	
<i>Dipl.-Ing. Robert Zobel, Dipl.-Ing. Sebastian Wilhelm</i>	253
18 Chronik des Brückenbaus	
<i>Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach, Dipl.-Ing. (FH) Sabine Wellner</i>	265
19 Inserentenverzeichnis	
<i>Übersicht der Werbeanzeigen im Tagungsband</i>	287

11 Sicherung der Rheinbrücke Leverkusen – Von der Schadensaufnahme zum Instandsetzungsmanagement unter Berücksichtigung der Altstahlproblematik

Dr.-Ing. Gero Marzahn; Dr.-Ing. Markus Hamme
Landesbetrieb Straßenbau NRW, Gelsenkirchen

Dr.-Ing. Peter Langenberg
Ingenieurbüro für Werkstofftechnik (IWT), Aachen

Prof. Dr.-Ing. Gerd Groten
Institut für Schweißtechnik und Fügetechnik (ISF) der RWTH Aachen

Dipl.-Ing. Michael Paschen
Ingenieurbüro Professor Sedlacek & Partner (PSP), Aachen

An der Rheinbrücke Leverkusen wird die ganze Dramatik der in Deutschland dringend erforderlichen Brückenertüchtigung deutlich sichtbar. Durch das in den vergangenen Jahrzehnten ungebrems-te Wachstum der Transportmengen im Güterverkehr und stetig steigende Fahrzeugesamtgewichte und Achslasten haben sich die Beanspruchungen dermaßen erhöht, dass die Reserven der Tragwerke aufgebraucht sind. Dies zeigt sich am umfangreichen und rasant forstschreitenden Schadensbild der Rheinbrücke Leverkusen in besonderer Weise. Die Schadensentwicklung wird dadurch beschleunigt, dass die Brücke für derart hohe Dauerbeanspruchungen nicht ausgelegt wurde und die Ausführungsqualität auch nicht den heutigen Anforderungen an eine ermüdungssichere Konstruktion entspricht. Die zur Aufrechterhaltung des Verkehrs zwingend erforderlichen Instandsetzungs- und Verstärkungsmaßnahmen werden durch die Materialeigenschaften des seinerzeit beim Neubau verbauten Stahls erheblich erschwert.

11.1 Einleitung

Die Rheinbrücke Leverkusen im Zuge des Kölner Ringes der Bundesautobahn 1 gehört zu den wichtigsten Brückenbauwerken im Bundesfernstraßennetz in Nordrhein-Westfalen. Sie ist ein wesentlicher Bestandteil des Kölner Autobahnringes

(Bild 11.1) und mit einer täglichen Verkehrsbelastung von derzeit etwa 120.000 Kfz/d für den Nah- und Fernverkehr nahezu unverzichtbar. Für den Schwerverkehrsanteil von zurzeit 12 % ist gemäß dem Prognosehorizont des Bundes bis 2025 eine Zunahme auf 18 % zu verzeichnen, sodass die Brücke auch für den Güterverkehr von großer Bedeutung ist.

Aufgrund von massiven und teilweise irreparablen Bauwerksschäden ist es dringend geboten, für die im Jahre 1965 unter Verkehr genommene Brücke einen Ersatzneubau zu schaffen. Da Planung und Erstellung des Ersatzneubaus nach heutiger Einschätzung mindestens bis zum Jahr 2020 andauern werden, müssen bis zur endgültigen Außerbetriebnahme der Bestandsbrücke noch erhebliche Anstrengungen unternommen werden, um den Verkehr mit möglichst geringen Einschränkungen bis dahin aufrecht zu erhalten.

11.2 Bauwerksbeschreibung

Die insgesamt 1057,10 m lange Rheinbrücke Leverkusen besteht aus der linksrheinischen Spannbeton-Vorlandbrücke mit einer Länge von 369,78 m und der 687,32 m langen stählernen Strombrücke. Die Strombrücke ist eine Schrägseilbrücke über insgesamt fünf Felder, wobei die Hauptöffnung über dem Rhein eine Stützweite von 280 m einnimmt (Bild 11.2). Die Pylone weisen eine Höhe von ca. 45 m über der Fahrbahn auf.

Der im Regelbereich 37,80 m breite Brückenquerschnitt wird aus einem zweizelligen Hohlkasten mit seitlichen Kragarmen (Bild 11.3) gebildet. Im letzten Feld auf der Leverkusener Seite findet eine Querschnittsaufweitung auf 45,25 m statt.

Die Hohlkästen sind im Abstand von ca. 2,55 m durch Querrahmen und bei jedem fünften Querrahmen zusätzlich noch durch einen Querverband ausgesteift. Die Kragarme werden durch Längsträger unterstützt, die wiederum in jeder Querrahmenachse mit Schrägstreben am Hohlkasten angeschlossen sind.



Bild 11.1: Rheinbrücke Leverkusen (Quelle: Straßen.NRW)

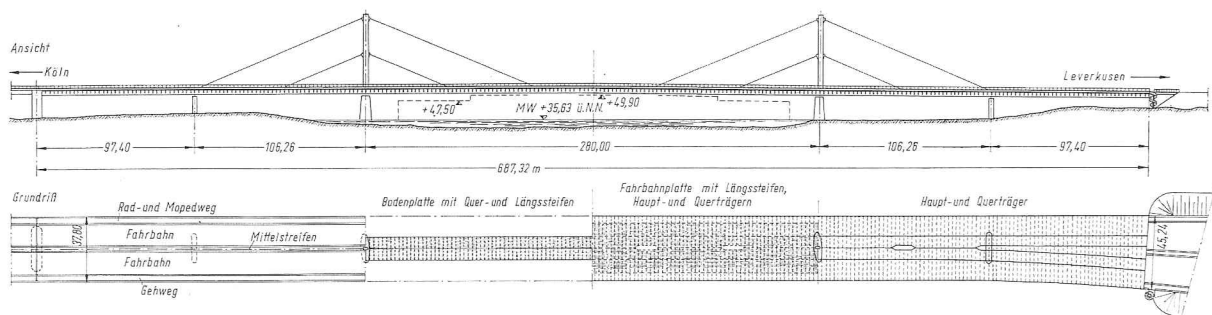


Bild 11.2: Ansicht und Draufsicht der Strombrücke [1]

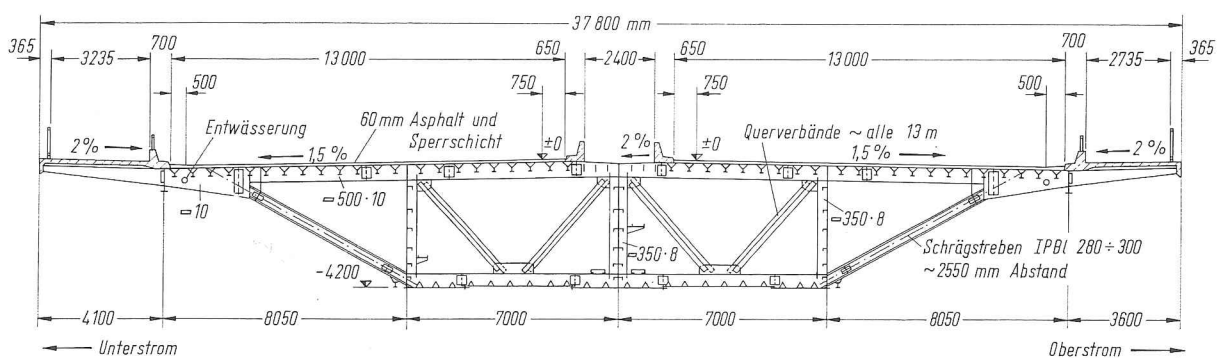


Bild 11.3: Regelquerschnitt [1]

Als Material wurde überwiegend Baustahl St52 verbaut. Aufgrund geringerer Beanspruchung in den Quersteifen der Stege und im Bodenblech sowie in den Steglängssteifen wurden diese teilweise in St37 ausgeführt. Als Verbindungstechniken kam entsprechend der damaligen Zeit überwiegend das Schweißen, auf der Baustelle jedoch auch noch das Nieten zum Einsatz. Eine ausführliche Beschreibung der Strombrücke ist in der Augustausgabe der Zeitschrift Stahlbau von 1967 [1] enthalten.

Im Jahre 1994 wurden Lärmschutzwände auf dem Bauwerk ergänzt und die äußeren Betongleitwände durch eine leichtere Stahlkonstruktion ersetzt. Infolge des stark gestiegenen Verkehrsaufkommens wird die ursprüngliche Standspur seit 1986 als zusätzlicher dritter Fahrstreifen genutzt, sodass der Verkehr in beiden Fahrtrichtungen mit drei statt seinerzeit geplanten zwei Fahrstreifen geführt wird. Zur Behebung von Defiziten in der Beulsicherheit der Hauptträger wurden im Jahre 2010 umfangreich zusätzliche Beulsteifen in die Hohlkästen eingebaut.

11.3 Schadensentwicklung

Risse an der orthotropen Fahrbahnplatte wurden an der Rheinbrücke Leverkusen erstmals bei der Bauwerksprüfung 1973 festgestellt. Trotz mehrerer, teils sehr umfangreicher Instandsetzungsmaßnahmen treten sie bis heute immer wieder auf und sind vornehmlich der Kombination aus hoher ermüdungswirksamer Beanspruchung und ungeeigneter Konstruktionsart geschuldet. Entsprechend den technischen Möglichkeiten kämpft man dagegen an. So wurde zum Beispiel im Jahr 1991 an allen 16.280 Kreuzungspunkten der Deckblechlängs- mit den Quersteifen die Form der Freischnitte verändert.

Im Jahr 2009 wurde eine Reihe von Rissen an den Lasteinleitungssteifen der Schrägstreben im Inneren des Hohlkastens festgestellt (Bild 11.4).

Während der Instandsetzung dieser Risse wurden Ende November 2012 gravierende Schäden in den äußeren oberen Rahmenecken der Hohlkästen festgestellt (Bild 11.5), die zur zeitweiligen Sperrung des Bauwerks für Fahrzeuge mit mehr als 3,5 t Gesamtgewicht geführt haben. Die Risse sind teilweise auch in die Stege der Hauptträger gewachsen.



Bild 11.4: Riss an einer Lasteinleitungssteife an einer Schrägstrebe (Quelle: PSP Aachen)



Bild 11.5: Gerissene Rahmenecke (Quelle: Straßen.NRW)

Im Juni 2014 wurden Risse an den Seilkammern (Bild 11.6) festgestellt.

Die festgestellten Risse führten zu einer erneuten Sperrung der Brücke für den gesamten LKW-Verkehr. Bei der nachfolgenden Entfernung des Korrosionsschutzes und intensiven Prüfung inkl. zerstörungsfreier Prüfverfahren aller zugänglichen Schweißnähte in den Seilkammern wurden auch Risse an den Seilverankerungstraversen festgestellt. Diese sind ursächlich für die bis heute andauernde Sperrung des Bauwerks für Fahrzeuge mit mehr als 3,5 t Gesamtgewicht. Eine Überprüfung der Pylone und der Seilumlenksättel ergab zum Glück keine Schäden.

Neben den zuvor beschriebenen Rissbildern treten vor allem an den oberen und unteren Anschlüssen

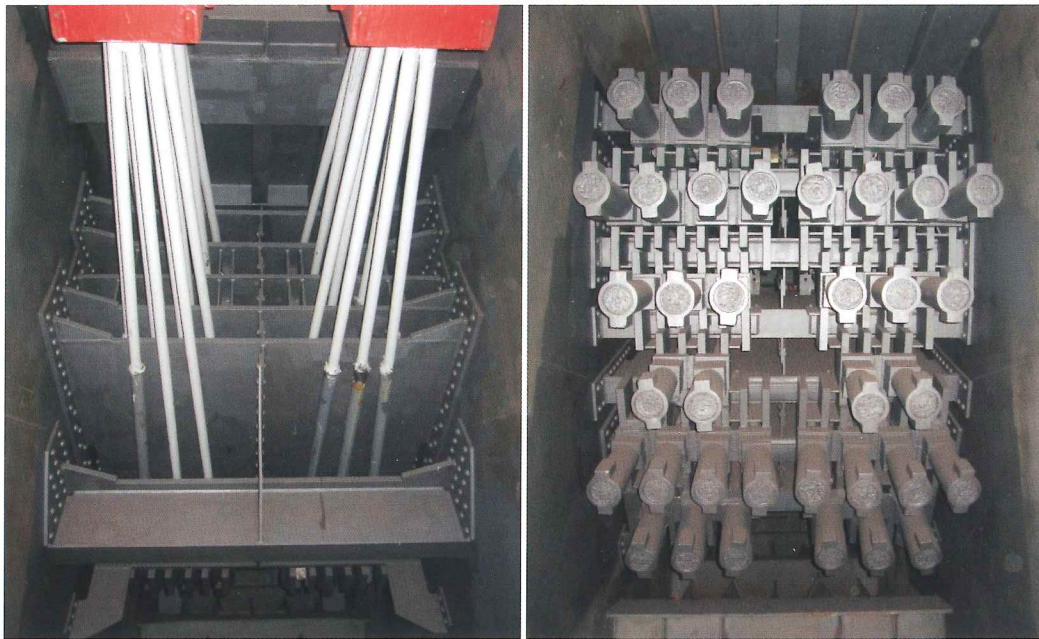


Bild 11.6: Seilkammer (Quelle: Straßen.NRW)

der äußeren Schrägstreben, an den inneren oberen Rahmenecken der Querrahmen, an den Anschlüssen der Verbandsdiagonalen und an vielen Freischnitten weitere Risse auf, die einer ständigen Instandsetzung und Prüfung bedürfen.

Für Risse an Stahlbrücken hat sich die Einteilung in die Kategorien 1-4 gemäß der Darstellung in [2] durchgesetzt. Die Rheinbrücke Leverkusen hat mittlerweile einen Zustand erreicht, in dem Risse aller vier Kategorien auftreten, d. h. neben der orthotropen Fahrbahnplatte (Kategorien 1 und 2) sind das Quertragwerk (Kategorie 3) und auch das Haupttragwerk (Kategorie 4) von der Rissbildung betroffen.

11.4 Schadensursachen

Der gravierende Schadensumfang an der Rheinbrücke Leverkusen lässt sich nur aus einer Kombination mehrerer Ursachen erklären. Ein wesentlicher Einfluss ist der Anstieg des Verkehrsaufkommens und hier insbesondere die drastische Zunahme des Schwerverkehrs. Straßenbrücken sind in den 1960er Jahren mangels Wissens in der Regel noch nicht so konstruiert worden, wie es insbesondere für die heute vorhandene Ermüdungsbelastung eigentlich erforderlich wäre. Insbesondere die orthotrope Fahrbahnplatte entspricht angesichts des bei dieser Brücke auch nur 60 mm

dicken Fahrbahnbelags nicht den hohen Anforderungen. Der für die Bauzeit typische, sehr sparsame Materialeinsatz ergibt eine wenig robuste Konstruktion.

Eine weitere wichtige Schadensursache ist die Materialgüte des Stahls. Diese entspricht zwar den Festigkeitsanforderungen, jedoch vielfach nicht den zusätzlichen Eigenschaftsparametern, die heutigen Baustählen abverlangt werden. So zeigen genauere makro- und mikroskopische Untersuchungen, dass die Schweißseignung des Materials nur eingeschränkt gegeben ist. Flächige Mangansulfideinschlüsse und weitere metallische Ungenzen (also Fehler im metallischen Gefüge) schränken die Beanspruchbarkeit des Stahls besonders in Dickenrichtung der Bleche ganz erheblich ein. Die Analyse der Bruchflächen von aktuellen Risschäden zeigt, dass es sich zumindest teilweise nicht um klassische Ermüdungsrisse handelt, sondern die Ursache in der mangelhaften Materialgüte in Verbindung mit thermischen Beanspruchungen aus dem Schweißprozess und den Spannungen aus der äußeren Belastung liegt. Qualitätsanforderungen hinsichtlich Z-Güten für Stähle mit Beanspruchung in Blechdickenrichtung waren seinerzeit nicht bekannt und auch nicht gefordert.

Ein dritter, nicht unwesentlicher Aspekt ist die teilweise unzureichende Ausführungsqualität der Schweißnähte, teilweise auch Resultat übergroßer Toleranzen in den Blechzuschnitten. Die Schweiß-

nahtgüte entspricht häufig nicht den heute bekannten Anforderungen an eine ermüdungssichere Ausführungsqualität, schwankt in den geometrischen Abmessungen und in der ermüdungssicheren Detaillierung der Naht.

11.5 Maßnahmen zur Aufrechterhaltung des Verkehrs

Angesichts der oben beschriebenen Schäden sind zur Aufrechterhaltung des Verkehrs an der Rheinbrücke Leverkusen besondere Maßnahmen erforderlich. Hierzu wurde ein Expertenkreis mit Vertretern verschiedener Fachausrichtungen gegründet, in dem die Schadensproblematik und das grundlegende Vorgehen zum weiteren Betrieb der Brücke festgelegt werden.

Eine kontinuierliche Bauwerksprüfung und eine möglichst zeitnahe Instandsetzung aufgefundener Schäden sind dafür unabdingbar. Dies geschieht nach einem speziellen Prüfplan, der in Abhängigkeit von der Schadensentwicklung auf den 14-tägigen Baubesprechungen angepasst wird. In diesen Besprechungen werden auch Art und Umfang der jeweils kurzfristig erforderlichen Instandsetzungen festgelegt. Ziel ist es, die Schäden möglichst so frühzeitig instand zu setzen, dass eine weitere Schadensentwicklung aufgehalten wird und Verkehrseinschränkungen möglichst verhindert werden. Falls jedoch größere Maßnahmen, wie z. B. ein Blechaustausch in hochbeanspruchten Knotenpunkten (Bild 11.7), erforderlich oder das Schweißen zur Schwingungsreduzierung nur unter Verkehrsberuhigung oder Verkehrsfreiheit möglich sind, werden die Arbeiten an Wochenenden oder in den Nachtstunden, ggf. auch mit Verkehrseinschränkungen ausgeführt.

Um weitere gravierende Schäden in den Rahmenecken zu vermeiden, werden die Querträgergurte mit zusätzlichen Untergurtlaschen, die durch die Hauptträgerstege durchgeführt werden, verstärkt und damit die Spannungen in den Rahmenecken erheblich reduziert (Bild 11.8).

Nach dem erfolgreichen Probeeinbau an vier Querrahmen soll nun im gesamten Bauwerk diese Verstärkung ausgeführt werden.

Darüber hinaus werden zur besseren Verteilung der Achslasten auf mehrere Querrahmen und zur Erhöhung der Redundanz bei Ausfall einer Schrägstrebe zusätzliche lastverteilende Längsfachwerkträger etwa in der Mitte zwischen den äußeren



Bild 11.7: Instandsetzung der Rahmenecken mit Blechaustausch (Quelle: Straßen.NRW)



Bild 11.8: Verstärkte Rahmenecke (Quelle: Straßen.NRW)

Hohlkastenstegen und den äußeren Längsträgern angeordnet werden. Eine generelle Erhöhung der Tragfähigkeit des Bauwerks wird mit diesen Maßnahmen aber nicht erreicht.

Zur Kompensation der im Sommer 2014 festgestellten Schäden an den Seilkammern wurden aufwändige geschraubte Verstärkungen eingebaut (Bild 11.9).

An fünf ausgewählten Querrahmen der Brücke wurden Dehnungsmessstreifen appliziert, die ein dauerhaftes Monitoring ermöglichen. Damit können nicht nur die Beanspruchungen der Knotenpunkte verfolgt, sondern auch Rückschlüsse auf den Verkehr gezogen werden. Bei außergewöhnlichen Ereignissen lassen sich hierrüber auch umgehende Bauwerksprüfungen veranlassen. Außerdem dient das Monitoring zur Beurteilung der Ef-

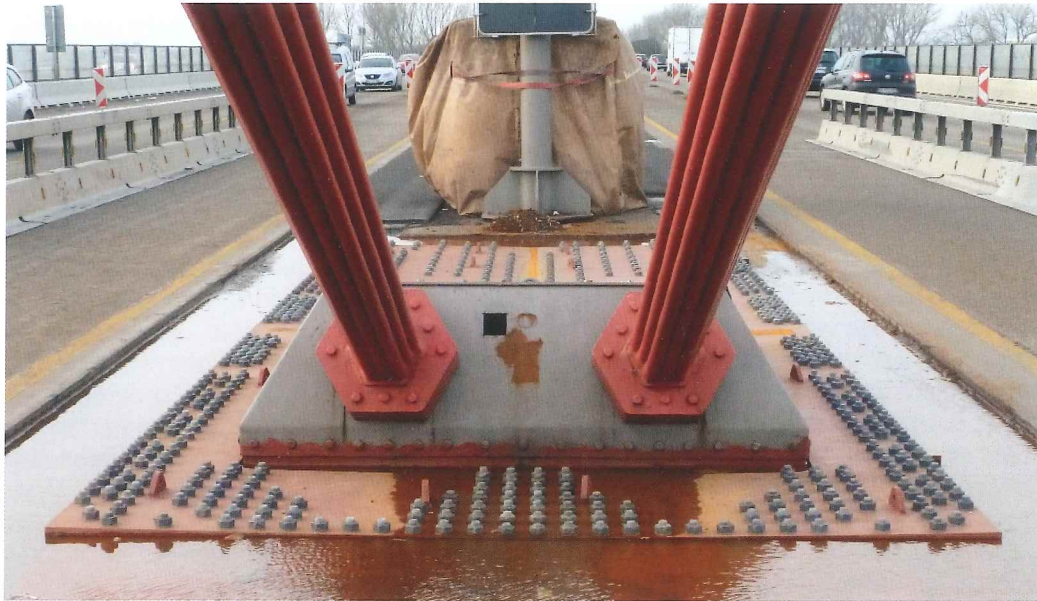


Bild 11.9: Verstärkung der Seilkammern (Quelle: Straßen.NRW)

ektivität der Verstärkungen, die zunächst probe-
weise nur in Teilbereichen eingebaut werden.

Zur Sicherung der Seiltraversen werden zurzeit
noch Lösungen ausgearbeitet. Erst wenn die Si-
cherung erfolgt ist, kann eine Wiederaufnahme
des LKW-Verkehrs im Betracht gezogen werden.

11.6 Werkstoffliche Aspekte der Instandsetzung

11.6.1 Anlass

Risse an älteren Stahlbrücken, insbesondere an
der orthotropen Fahrbahnplatte, sind neben der
Rheinbrücke Leverkusen auch von anderen stäh-
lernen Brücken bekannt. Sie können aufgrund re-
gelmäßiger Inspektion jedoch weitgehend als be-
herrschbar angesehen werden. Beherrschen heißt
hier:

- Sicherheit haben, dass der Riss nicht unter Be-
trieb in kürzester Zeit eine kritischen Versa-
gensgröße erreicht,
- Mögliches unterkritisches Risswachstum –
zum Beispiel infolge Ermüdung – in regelmä-
ßigen, angemessen kurzen Intervallen zu kon-
trollieren oder Risse durch geeignete Maßnah-
men im Wachstum zu stoppen,
- Unter Umständen (unpopuläre) Verkehrsbe-
schränkungen einzuführen, wenn sich zum

Beispiel im Winter die Spröbruchgefahr auf-
grund niedrigerer Temperaturen nicht aus-
schließen lässt,

- Dass aufgefundene Risse so schnell wie mög-
lich zu reparieren oder gegebenenfalls gan-
ze Baugruppen auszutauschen sind. Dies ist
zweifelsfrei die schwierigste Aufgabe, insbe-
sondere unter Verkehr. Regelmäßig Brücken-
schließungen sind zwar gut für die Reparatur,
aber nicht beliebt in der Wirtschaft und bei den
Verkehrsteilnehmenden.

Für die Planung der Reparaturmaßnahmen kommt
es meist darauf an, genügend Informationen
über den alten Stahl herauszufinden und einen
Schweißplan aufzustellen, der eine fehlerfreie Wie-
derherstellung der Konstruktion ermöglicht. Diese
Aussage ist soweit trivial und auch Stand der Pra-
xis. Es gilt jedoch, verschiedene Besonderheiten
des Altstahls zu berücksichtigen. Solche Beson-
derheiten wurden bei den Arbeiten in Leverkusen
gefunden und man kann davon ausgehen, dass sie
auch bei anderen Brücken aus dieser Zeit anzutref-
fen sind.

Diese Besonderheiten lassen sich kurz wie folgt
zusammenfassen:

- Der Baustahl St52 hat aus heutiger Sicht einen
hohen Gehalt an Schwefel und Phosphor und
damit eine Vielzahl von oxidischen und sulfi-
dischen Verunreinigungen, die bei Beanspru-
chungen in Dickenrichtung (Wärmespannun-

gen beim Schweißen von T-Stößen als Vollanschluss oder als Kehlnaht) zu Terrassenbruch führen können. Aber auch bei Stumpfnähten können die Seigerungszone(n) im Blechkern u. U. Rissprobleme verursachen.

- Insbesondere bei dünnen Blechen finden sich ausgeprägte Verunreinigungen, die über das normale Seigerungsverhalten alter Stähle hinausgehen und als oxidische Zeilen in Blechmitte verlaufen. Diese werden verallgemeinert als Dopplung beschrieben, sollen hier aber als *metallurgisch bedingte Fehlstellen* (MBF) eingeführt werden, da sie an der betreffenden Stelle einen Werkstoffverbund herstellen, welcher jedoch nicht die zu erwartenden Eigenschaften in Dickenrichtung hat (liefert niedrigste Z-Werte). Außerdem kann der Bereich nicht mittels Ultraschall gefunden werden, da es sich nicht um eine Werkstofftrennung handelt.
- Niedrige Kerbschlagzähigkeiten, die teilweise nicht mehr die Anforderung an einen St52-3 (also 27 J bei T = -20 °C) erfüllen und damit die Spröbruchsicherheit in Frage stellen.
- Prinzipiell die chemische Zusammensetzung, die für ihre Zeit typisch ist und aus heutiger Sicht bei Anwendung moderner Schweißprozesse und Zusatzwerkstoffe ein anderes Schweißverhalten bedingen kann als Schweißer es von modernen Stählen mit niedrigerem Kohlenstoffäquivalent gewohnt sind.
- Rissphänomene an Schweißverbindungen, die sich zunächst nicht eindeutig hinsichtlich der Bruchursache einordnen lassen.

Damit für derartige Brückentähle mit den oben beschriebenen Besonderheiten Instandsetzungslösungen gefunden werden konnten, hat das Expertenteam folgende Arbeitshypothesen aufgestellt:

- Die Stähle der Brücke sind grundsätzlich schweißgeeignet, da die Brücke ansonsten so nicht hätte hergestellt werden können.
- Die verwendeten Stähle werden für den weiteren Umgang als Altstahl bezeichnet, um eine Abgrenzung zu heutigen Stählen zu schaffen.
- Die heutigen Methoden der Verarbeitung von Stahl beim Trennen und Schweißen müssen und können an die Gegebenheiten alter Stähle angepasst werden.

- Der Aufwand hierfür kann den für heutige moderne Stähle übersteigen, da mehr geprüft und aufwändiger geschweißt werden muss.

Diese Aussagen werden im Übrigen auch durch die Schweißliteratur der 1960er Jahre [3] bestätigt: „Allgemein kann über diese Anpassung (r. A. des Schweißverfahrens an den Werkstoff) gesagt werden, dass man für jede Stahlsorte ein Schweißverfahren entwickeln kann, dass gesundes Schweißen ergibt. Bei schlechten Schmelzeigenschaften von Stahl kann dies im Allgemeinen nicht erreicht werden, ohne dass man in anderer Hinsicht etwas verliert. Gewöhnlich werden Wirtschaftlichkeit und Geschwindigkeit des Schweißens dabei verschlechtert. Man steht also vor der Wahl einer Kostensteigerung, entweder durch das Schweißen oder durch das Beschaffen eines leicht schweißbaren Stahls.“

11.6.2 Stahlherstellung in den 1960er Jahren

Die Herstellung von Stahl ist bis in die Frühzeit belegt. Insbesondere mit der einsetzenden Industrialisierung im 19. Jahrhundert stand mit dem Puddelverfahren das erste industrielle Verfahren zur Verfügung. Es wurde ab etwa 1870 durch die weitaus leistungsfähigeren Verfahren, z. B. Siemens-Martin-Verfahren (Herdfrischverfahren) und Bessemer- und Thomas-Verfahren (Windfrischverfahren) ergänzt, die es schließlich ab dem 20. Jahrhundert auch verdrängten. Diese Verfahren hatten in Westdeutschland bis zum 2. Weltkrieg Bestand. Nach dem 2. Weltkrieg setzte der Siegeszug des Sauerstoffaufblaskonverters und der Elektrostaahlverfahren ein. Diese Verfahren sind auch heute noch üblich. Zusätzlich wurden in den 1960er Jahren das Stranggussverfahren und ab den 1970er Jahren die Sekundärmetallurgie, die Mikrolegierung und das thermomechanische Walzen eingeführt.

Tabelle 11.1 zeigt einen Vergleich der Herstellungsverfahren in Hinblick auf die wesentlichen mechanisch-technologischen Eigenschaften sowie die Schweißseignung. Mit jedem neuen Verfahren und jeder ergänzenden Methode konnte eine Qualitätsverbesserung erzielt werden. Dies macht sich weniger an der Festigkeit und Duktilität fest (mit Ausnahme der hochfesten und höchstfesten Stähle ab den 1970er Jahren), als vielmehr an der Verbesserung der Zähigkeit und der Schweißseignung.

Diese Effekte wurden vor allem durch die Reduzierung der Schwefel- und Phosphor- sowie

Tabelle 11.1: Vergleich der Eigenschaften für die industriellen Herstellungsverfahren seit 1850

	Festigkeit	Duktilität	Zähigkeit	Schweiß- eignung
Puddelstahl bis ca. 1920	bis St33	< 10 %	<50 J	keine
Thomas-, Bessemer- und Siemens-Martin Stahl bis 2. Weltkrieg	bis St 37 St44	> 14%	< 100 J	Einge- schränkt (nicht üblich)
Konverterstahl (Sauerstoffblasverfahren) nach 2. Weltkrieg bis 70er Jahre	bis St52	> 14 %	< 150 J	gegeben
Konverterstahl (Sauerstoffblasverfahren) plus Sekundärmetallurgie plus Strangguss plus Mikrolegierung plus TM Walzen ab 70er Jahre	bis S1100	>> 14%	< 450 J	Sehr gut

der Sauerstoff- und Stickstoffgehalte durch Al-Legierung und sekundärmetallurgische Maßnahmen erzielt. Heute können Pipeline-Stähle Kerbschlagarbeiten in der Hochlage bis 450 Joule aufweisen. Übergangstemperaturen T_{27J} von kleiner -50 °C sind kein Problem für Feinkornstähle. Dabei werden gleichzeitig niedrige Kohlenstoffäquivalente eingestellt, die wirtschaftliches Schweißen ermöglichen.

In den 1960er Jahren war man davon noch weit entfernt. Man war stolz darauf, Schwefel- und Phosphorgehalte im Baustahl praktisch auf 0,65 Masseprozent zu reduzieren. Heute weiß man jedoch, dass die Gehalte qualitätsschädigender Begleitstoffe noch viel zu hoch sind und es daher kein Wunder ist, wenn die Stähle aus dieser Zeit keine ausreichende Z-Güte aufweisen. So findet sich interessanterweise auch im Stichwortverzeichnis der angesehenen Fachzeitschrift Stahl und Eisen in den Jahrgängen von 1960 bis 1965 nicht einmal das Stichwort „Terrassenbruch“.

Als Erkenntnis aus diesem kleinen Exkurs ist also festzuhalten, dass im Rahmen der Stahltechnologie in den 1950er und 1960er Jahren Stähle mit hohen S- und P-Werten üblich waren. Als Folge sind umfangreiche Seigerungen, oxidische Verunreinigungen und langgestreckte Mangansulfide nicht ungewöhnlich und die Zähigkeit im Vergleich zu heute folglich eher niedrig. Bild 11.10 zeigt dazu ein

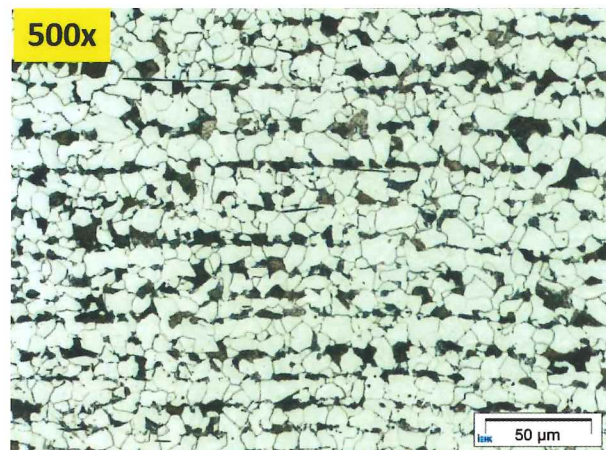


Bild 11.10: Typisches ferritisch-perlitisches Gefüge von Baustählen aus Untersuchungen der Leverkusener Brücke; hier: Stahl von 1965 (Quelle: IWT Aachen)

typisches ferritisch-perlitisches Gefüge in zeiliger Anordnung. Die zeilige Anordnung des Gefüges ist walztechnisch bedingt und typisch für diese Stähle. Bei unlegierten einfachen Baustählen tritt sie so auch nach heutiger Produktion auf. Diese Zeiligkeit hat zwar einen gewissen Effekt auf Festigkeit und Zähigkeit (Anisotropie der Längs- und Quereigenschaften), sollte aber nicht mit dem deutlich ne-

gativen Effekt der Verunreinigungen durch ausgewalzte Mangansulfidzeilen oder mit anderen Einschlüssen verwechselt werden. Der polierte Schliff in Bild 11.11 zeigt die für Stähle der 1950er und 1960er Jahre typischen, umfänglichen Verunreinigungen, mit denen man bei diesen Stählen rechnen muss. Dennoch bleibt aus Expertensicht festzuhalten: Auch diese Stähle wurden geschweißt und die Bauwerke haben bis heute überlebt.



Bild 11.11: Typische Einschlussverteilung von Baustählen; hier: 1965, entnommen aus der Le-verkusener Brücke; sichtbar: langgestreckte Mangansulfide und ein oxidischer Einschluss (Quelle: IWT Aachen)

11.6.3 Eigenschaften alter Stähle

Die mechanischen Eigenschaften der alten Stähle wurden nach DIN 17100 [4] für das Bauwesen festgelegt. Für den Brückenbau kam in dieser Zeit schon der damals hochfeste Stahl St52 zum Einsatz. Vor- und Nachteile wurden in der entsprechenden Literatur ausführlich von der Fachwelt diskutiert, z. B. in den Zeitschriften *Stahlbau* oder *Schweißen und Schneiden*, Jahrgänge 1960 bis 1965.

Die Festigkeit der Stähle und die Duktilität wurden mit $R_{e,min} = 355$ MPa und $R_m = 510$ MPa angegeben, die Mindestdehnung bei Raumtemperatur betrug 18 %. Ergebnisse an Zugproben aus Stählen aus der Brücke Leverkusen zeigen, dass die Einhaltung dieser Anforderungen in den meisten Fällen kein Problem darstellt.

Anders kann es bei den Kerbschlagprüfungen an alten Brückenstählen aussehen. Hier werden durchaus Werte von unter 27 J bei $T = -20$ °C gefunden

und geben damit Anlass zur Sorge, dass im Winter Sprödbrüche auftreten könnten.

Die chemischen Analysen, die bis jetzt ermittelt wurden, zeigen die typische Zusammensetzung der führenden Legierungselemente für diesen Stahl: Kohlenstoff, Mangan und Silizium. Außerdem findet sich häufig ein ausreichend hoher Gehalt an Aluminium, um von beruhigt vergossenem Stahl zu sprechen. Ergebnisse zu Stickstoffwerten, die die Alterung begünstigen, liegen nicht in ausreichender Zahl vor. Es ist aber davon auszugehen, dass Stähle aus dieser Zeit noch von Alterung betroffen sein können. Dies würde auch die teilweise niedrigen Zähigkeitswerte nach 50 Jahren erklären.

Von Interesse im Hinblick auf die Instandsetzung durch Schweißen ist jedoch das Gefüge. In den Bildern 11.10 und 11.11 wurde bereits eine typische Ausprägung der Gefüge dargestellt. Weitere Besonderheiten, die eingangs bereits erwähnt wurden, werden im folgenden Kapitel behandelt. Dabei werden die Besonderheiten, die bisher gefunden wurden und die für die Verarbeitung der Stähle bei der Reparatur von Bedeutung sind, diskutiert.

11.6.4 Besonderheiten des Stahls in Hinblick auf die Verarbeitung

Für die Werkstoffuntersuchungen an der Brücke in Leverkusen standen vier Fragen im Vordergrund:

1. Wie sieht das Gefüge generell aus? Welche Besonderheiten treten auf?
2. Wie sehen die alten Schweißnähte aus?
3. Bei den gefundenen Rissen: Welche Bruchursache kann festgestellt werden?
4. Und immer wieder: Wie ist die Schweißei-gnung?

Die erste Frage wurde für den Grundwerkstoff bereits zuvor beantwortet. Interessant sind jedoch die metallurgischen Besonderheiten, die sich außerdem und unerwartet ergeben haben. So wurden bei einigen Proben Aufreißungen in der Blechdickenmitte gefunden, die bevorzugt an gebrannten Freischnitten auftraten (Bild 11.12).

Die Untersuchung solcher Bereiche zeigte dann auch, dass es etwa in der Mitte eine oxidisch gefüllte Zeile gibt, die zu Aufreißungen führt, wenn Spannungen in Dickenrichtung, z. B. beim Ausbrennen, auftreten. Sie wirken dann wie ein Reißverschluss, der durch den Blechkern läuft (Bild 11.13).



Bild 11.12: Aufreißung in Blechmitte (Quelle: IWT Aachen)



Bild 11.13: Oxidische Zeile in Blechmitte (Quelle: IWT Aachen)

Man spricht bruchtechnisch gesehen von einer Delamination in Dickenrichtung. Dort, wo der Riss endet, zeigt das umgebende Gefüge meist eine breitere ferritische Zeile mit einer Vielzahl von oxidischen Verunreinigungen. Zur Abgrenzung gegen den Begriff der Dopplung wurde dieser Effekt im Rahmen der Untersuchung als metallurgisch bedingte Fehlstelle (MBF) definiert. Dieser Effekt dürfte bei der Verarbeitung mit Wärme (Brennen, Plasmaschneiden, Trennen, Schleifen und Schweißen) aufgrund der Wärmespannungen und ggf. metallurgischer Reaktionen zu den Aufreißungen führen. Entsprechend ist es notwendig, solche Stellen vor der Reparatur zu identifizieren und entsprechende Maßnahmen zur Vermeidung von Aufreißungen zu ergreifen. Diese sind bisher nicht vorhanden und werden zurzeit entwickelt.

Die zweite Fragestellung betrifft die Ausführung der Schweißverbindungen. Bei heutigen Reparaturschweißungen können teilweise Probleme mit erneuter Rissbildung auftreten. Als Ursache wird aufgrund der vorher diskutierten Stahleigenschaften meist Terrassenbruch vermutet und teilweise auch bestätigt. Außerdem wurden immer wieder, wie in Bild 11.14 dargestellt, abgerissene Anschlüsse der Längssteife an den Querträger gefunden. Um diese Effekte zu untersuchen, wurde aus der Brücke eine Bauteilprobe entnommen, welche Teile der Längsrippe und des Querträgers in der Mitte enthält (Bild 11.14).

Am dargestellten Bauteil waren auf einer Seite des Querträgers Risse am Anschluss des Längsträger-Sektkelchsteg-Profils an den Querträger über nahezu die gesamte Länge detektiert worden (Bild 11.15). Außerdem war der Anschluss des T-Trägers an die Sektkelchstegbleche aufgrund der

Kreuzung von Bauteilen und der entsprechenden Mehrachsigkeit im Verdacht, rissauslösend zu wirken.

Das Ergebnis der Untersuchung zeigt exemplarisch Bild 11.16. Dargestellt ist der Anschluss des Sektkelchsteges an den Querträger mit der gerissenen Seite (links im Bild). Sofort wird deutlich, dass die Schweißverbindung auf der gegenüberliegenden Seite sehr viel stärker und auch mehrlagig ausgebildet ist und die Schweißraupen, die direkt am Querträgerstegblech angreifen, eine stärkere Anbindung haben als die einlagige Naht auf der gerissenen Seite. Bei der metallographischen Untersuchung der Bruchseite (Bild 11.17) wird dann auch deutlich, dass der Riss durch die wärmebeeinflusste Zone verläuft, welche ein aus bruchmechanischer Sicht ungünstiges martensitisch-bainitisches Gefüge, also Bereiche reduzierter Zähigkeit, aufweist.

Da weiter klargestellt werden konnte, dass die Schweißverbindung auf der anderen Seite eine nachträgliche Reparaturnaht ist, gilt es als wahrscheinlich, dass der Bruch auf der anderen Seite durch Schrumpfspannungen bei gleichzeitiger Dehnungsbehinderung bei der Reparatur entstanden sein muss. Weiter zeigt dieses Beispiel, dass es offensichtlich möglich war, die Reparaturnaht ohne Verursachung von Terrassenbruch anzubringen. Folglich ist die Reparaturmöglichkeit grundsätzlich gegeben. Es ist jedoch darauf zu achten, dass die gegenüberliegende Seite nicht zu stark belastet wird und nach der Reparatur auch auf Risse zu prüfen ist.

Der dritten Frage nach den Brucharten wurde ebenfalls anhand des in Bild 11.14 dargestellten Bauteils



Bild 11.14: Ausgeschnittenes Bauteil – Längsrippe mit Querträger (Quelle: IWT Aachen)

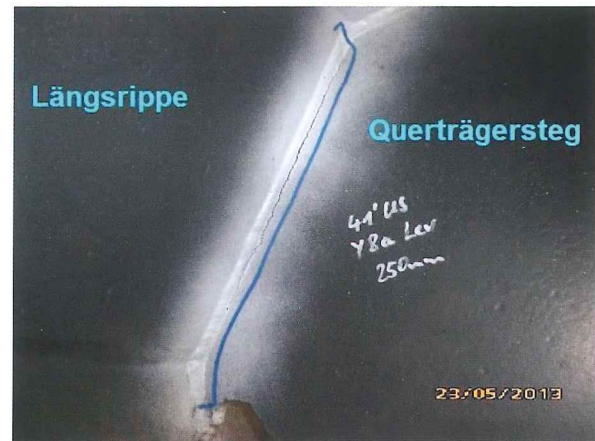


Bild 11.15: Rissanzeige entlang des Anschlusses Längsrippe (rechts oberhalb des Anschlusses) an Querträger (unterhalb des Anschlusses, Quelle: IWT Aachen)

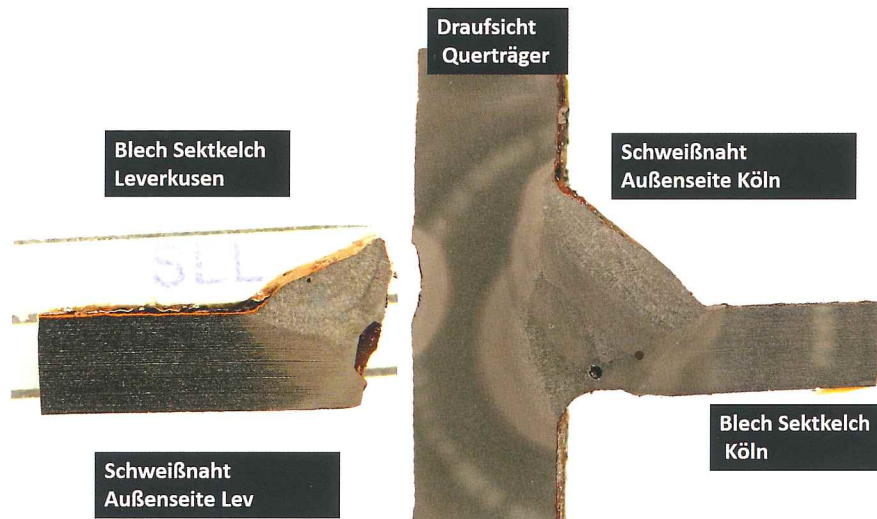


Bild 11.16: Makro des beidseitigen Anschlusses Längsrippe (Sektkelchsteg) an Querträger (Quelle: IWT Aachen)

nachgegangen. Neben der bereits diskutierten metallographischen Betrachtung wurde jetzt auch die Bruchfläche herausgetrennt und im Rasterelektronenmikroskop (REM) untersucht. Bild 11.18 zeigt die makroskopische Bruchflächenaufsicht. Es wird deutlich, dass das Problem von einer ungenügenden Durchschweißung der Verbindung herrührt. Am Übergang von Schweißnaht zu Stegblechkante ist ein glänzender Bereich erkennbar, der vermutlich aus der Schweißung resultiert, aber keine Anbindung an den Querträger hatte. Das Ergebnis der REM-Untersuchung ist in Bild 11.19 wiedergegeben. Die ursprüngliche Vermutung, dass es sich um einen Ermüdungsanriss oder einen Sprödbbruch handelt, konnte nicht bestätigt werden. Vielmehr zeigen die Bruchstrukturen ausgeprägte Korrela-

tionen zu der Gefügebeobachtung an Querschliffen aus der Metallographie. Damit wurde bestätigt, dass der Bruch fertigungsbedingt infolge der Schweißspannungen aufgetreten sein muss und zwar vermutlich durch eine Reparatur auf der anderen Seite des Querträgers.

Die vierte und ganz und gar nicht unwichtige Frage ist die nach der Schweißbeignung der Stähle. Diese Frage soll am Beispiel von Untersuchungen an dickeren Blechen aus einer Seilkammer der Brücke diskutiert werden. Nachdem sich auch in einer der Brückenseilkammern Anrisse zeigten, erfolgte auch an den hier verwendeten Stählen eine systematische Werkstoffuntersuchung mit dem Ziel, die Herkunft und die Wachstumsfähigkeit der

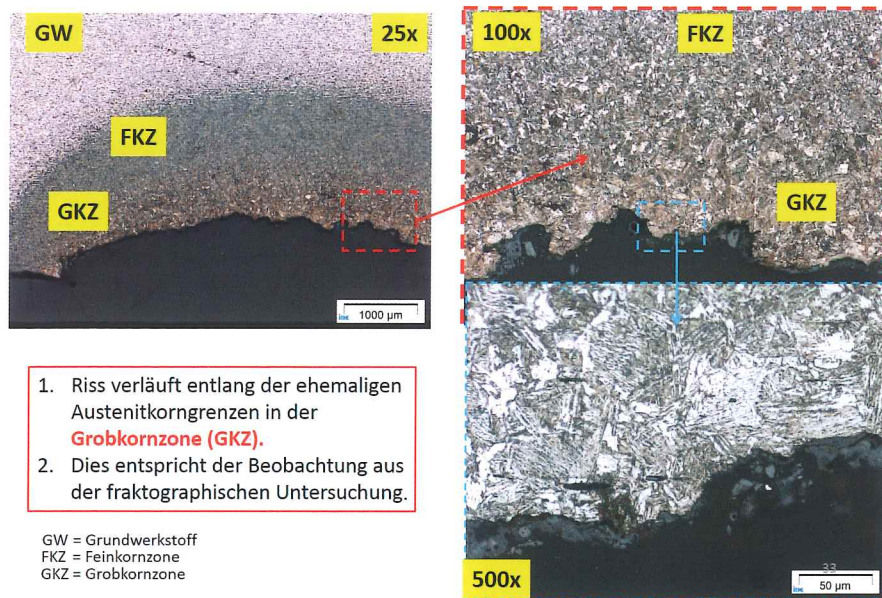


Bild 11.17: Gefüge im Bruchbereich (bis zu 500fache Vergrößerung, Quelle: IWT Aachen)



Bild 11.18: Bruchfläche Sektkelchstegseite (Quelle: IWT Aachen)

aufgefundenen innenliegenden Fehler zu ermitteln und Informationen hinsichtlich der Werkstoffeigenschaften und Schweißeignung der dicken Bleche zu geben.

Dazu zeigt Bild 11.20 ein Makro einer beidseitig ausgeführten Kehlnaht zwischen Steg und Deckblech mit einem rissartigen Fehler unterhalb der obersten Lage. In der Mitte befindet sich eine größere Kavität und von dort verläuft der Riss durch den Rest der Schweißnaht bis zum unten angeschweißten Blech. In Längsrichtung (nicht dargestellt) verläuft der Fehler durch die gesamte Bauteilprobe, die eine Länge von ca. 200 mm hat.

Die Schweißnähte sind auf beiden Seiten mehrlagig ausgeführt und sind unterschiedlich in ihrer Ausrichtung und Nahtform (nicht dargestellt). Dies gibt u. a. einen Hinweis darauf, dass sie unter verschiedenen Bedingungen geschweißt wurden.

Obwohl die eine Kehlnaht einen deutlichen Fehler enthält, ist insgesamt die seitliche Anbindung der Schweißraupen an die Bleche an allen Stellen sehr gut gelungen und es gibt keinen Hinweis auf Terrassenbruch. Die Untersuchung des Fehlers im Rasterelektronenmikroskop ergab, dass der Fehler sehr wahrscheinlich herstellungsbedingt und von der sichtbaren Schlaupore in der Mitte ausgegangen ist. Weiteres Ermüdungsrisswachstum konnte nicht festgestellt werden.

Die Untersuchung der Grundwerkstoffe der verschweißten Bleche beinhaltet auch die Ermittlung der chemischen Zusammensetzung und der Festigkeits- und Zähigkeitseigenschaften inkl. Aufnahme des Gefüges. Die chemischen Analysen der in Bild 11.20 gezeigten Probe und zwei weiterer Proben (insgesamt sechs Bleche mit Dicken um

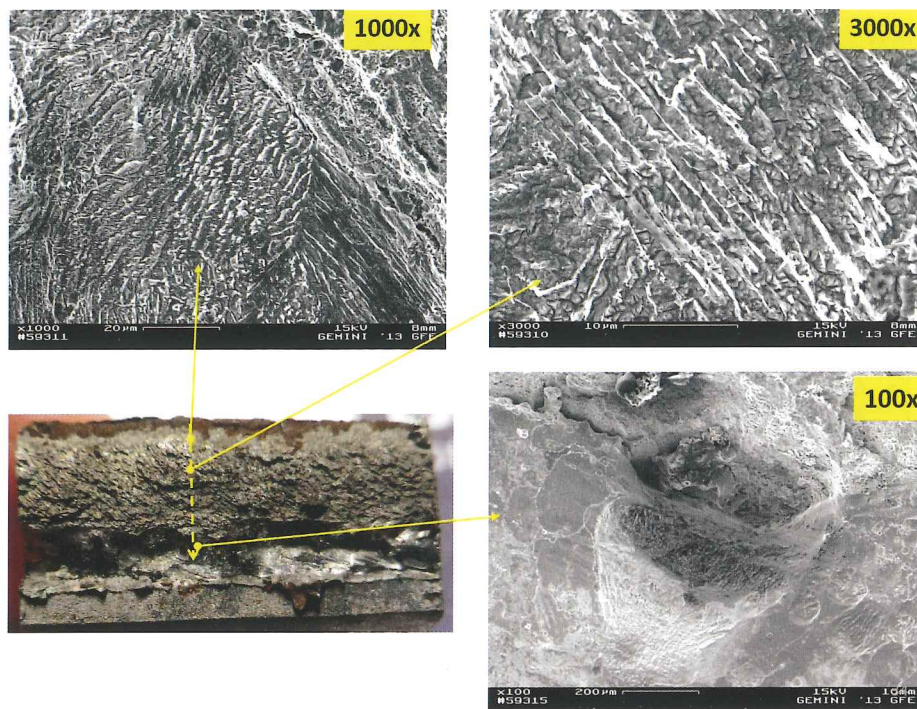


Bild 11.19: Bruchflächen im REM, verschiedene Positionen (Quelle: IWT Aachen)

35 mm) zeigt die Tabelle 11.2, die auch das Kohlenstoffäquivalent nach EN 10025 [5] wiedergibt.

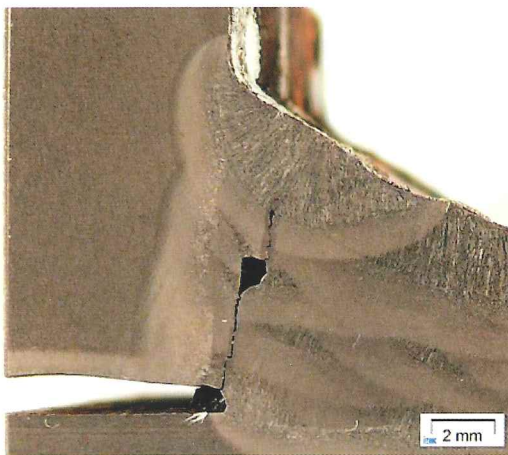


Bild 11.20: Kehlnaht zwischen Deckblech (unten) und Steg oben mit Schlauchpore und Rissen (ML2 ist die Probenbezeichnung, Quelle: IWT Aachen)

Man erkennt eine für Baustahl typische chemische Zusammensetzung, die auch die Bedingungen eines heute hergestellten S355 hinsichtlich der zulässigen Maximalgehalte bestimmter Elemente erfüllt. Auffällig ist insbesondere, dass bei diesen dickeren Blechen durchweg niedrigere Schwefel-

und Phosphorgehalte gefunden wurden als bei den meisten dünnen Blechen in den anderen Bauteilen der Brücke. Dies kann damit zusammenhängen, dass von jeher bei dickeren Blechen höhere Anforderungen gestellt wurden als bei dünneren. Die Kerbschlagzähigkeiten waren bei insgesamt sechs verschiedenen Blechen mit 30 bis 35 mm Dicke mit > 50 J bei -20 °C ausreichend hoch. Vor diesem Hintergrund ist die Schweißseignung aus werkstofftechnischer Sicht gewährleistet. Dennoch sollte sich der ausführende Betrieb bewusst machen, dass die Schweißseignung außer vom Werkstoff auch noch von der Schweißmöglichkeit (Zwängungen, behinderte Schrumpfung, Schweißposition über Kopf) und dem gewählten Verfahren beeinflusst wird.

11.6.5 Schlussfolgerungen zur Schweißbarkeit der verwendeten Stähle

Aufgrund der bisherigen Werkstoffuntersuchungen an den Stählen aus der 1965 fertiggestellten Leverkusener Rheinbrücke kann in Hinblick auf Qualität und Verarbeitung dieser Stähle bei notwendigen Reparaturmaßnahmen festgestellt werden:

- Alte Stähle aus den 1960er Jahren in Brücken können im Regelfall als eingeschränkt

Tabelle 11.2: Chemische Zusammensetzung der verwendeten Stähle in %

Chemisches Element	Probe 10'-1			Probe 10'-2		Probe 10'-3		
	Blech O	Blech U	Schweißnaht	D	S	Blech O	Blech U	Schweißnaht
C	0,206	0,19	0,0547	0,172	0,194	0,219	0,214	0,121
Si	0,295	0,537	0,329	0,382	0,524	0,56	0,30	0,46
Mn	0,976	1,31	0,901	1,16	1,314	1,36	0,982	1,122
P	0,013	0,006	0,011	0,008	0,007	0,007	0,012	0,008
S	0,012	0,015	0,018	0,01	0,015	0,014	0,012	0,020
Cr	0,0225	0,0147	0,015	0,021	0,018	0,014	0,022	0,016
Mo	< 0,005	< 0,005	< 0,005	0,005	0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005
Ni	0,0347	0,0439	0,0408	0,032	0,047	0,046	0,036	0,038
Al	0,0401	0,0641	0,0048	0,064	0,063	0,063	0,040	0,014
Cu	0,152	0,104	0,133	0,133	0,108	0,106	0,149	0,119
Nb	0,0217	0,0295	0,0024	0,008	0,031	0,030	0,021	0,010
Ti	< 0,001	0,0012	0,0013	< 0,001	0,001	0,0011	0,001	0,0032
V	0,0038	0,0046	0,0039	0,004	0,005	0,005	0,004	0,004
Fe	98,1	97,6	98,3			97,3	97,9	98,00
CEV ¹⁾	0,39	0,42		0,38	0,43	0,46	0,41	

¹⁾ **CEV = C+Mn/6+(Ni+Cu)/15+(Cr+Mo+V)/5 nach DIN EN 10025-1, 7.2.3 [6]**

schweißgeeignet betrachtet werden. Das Gefüge der Stähle ist ferritisch-perlitisch in zeiliger Anordnung, was auch bei den heute gängigen einfachen Baustählen üblich ist. Es sind jedoch einige spezifische Besonderheiten zu beachten.

- Insbesondere treten deutlich höhere Schwefel- und Phosphorgehalte als heute üblich auf, was zu Seigerungen und umfangreichen Verunreinigungen mit langgestreckten Mangansulfiden führt. Bei Schweißungen in Dickenrichtung kann es daher zu Terrassenbruch kommen. Vermeidungsstrategien müssen aus schweißtechnischer Sicht sorgfältig geplant werden. Zu nennen sind:
 - Maßnahmen, wie z. B. Pufferung bevor der Verbund hergestellt wird,
 - Schweißen mit kontrollierter niedriger Wärmeeinbringung und kleinen Raupen,
 - Verwendung weicher Schweißgüter mit hoher Dehnfähigkeit und
 - Verwendung von Schlackenbildnern, die in der Lage sind, Schwefel zu binden.

- Die Zähigkeit der Stähle kann durch Verunreinigungen, aber auch durch Alterung (was nicht explizit untersucht wurde) beeinträchtigt sein. Auch wenn Werte unter 27 J bei -20 °C auftreten, muss dies nicht sofort zum Sprödbbruch führen. Gegebenenfalls lassen sich bruchmechanische Berechnungen einsetzen, um die Sprödbrechtsicherheit zu berechnen.
- Weiter zu beachten ist die Beobachtung, dass es metallurgische Besonderheiten gibt, sogenannte metallurgisch bedingte Fehlstellen, wie z. B. Oxidzeilen im Blechkern, die bei Beanspruchung in Dickenrichtung leicht aufreißen, aber auch beim Schweißen Probleme verursachen können. Beanspruchungen in Dickenrichtung können insbesondere durch thermische Einwirkungen, z. B. aus Schweißen, Brennen und evtl. auch Schleifen, Fräsen und Trennschleifen hervorgerufen werden. Dies sollte bei der Instandsetzungsplanung Beachtung finden, indem gegebenenfalls vorher an kleinen Bohrkernen metallographische Untersuchungen vorgenommen werden. In diesem Zuge kann dann auch gleich die chemische Zusammensetzung mitbestimmt werden, was für die Schweißung von Bedeutung ist.

- Schweißungen an diesen Stählen sollten an die oben beschriebenen Erfordernisse in Hinblick auf das Schweißverfahren, die Wärmeleitung, Schweißfolge und Auswahl der Zusatzwerkstoffe angepasst werden. Wichtig erscheint es in diesem Zusammenhang, sich durch gezielte Werkstoffuntersuchungen ein tatsächliches Bild vom verwendeten Stahl zu machen und dies, falls vorhanden, mit Erfahrungen zu vergleichen. Bei umfangreichen Maßnahmen ermöglicht diese Vorgehensweise für alle Beteiligten eine Lernkurve, die Verringerung des Prüfaufwandes sowie die Verbesserung der Reparaturmöglichkeit als auch der Reparatursicherheit.
- Da aus heutiger Sicht davon auszugehen ist, dass noch mehr infrastrukturell bedingte Probleme mit alten Stahlkonstruktionen auftreten werden, wäre es in Fachkreisen zu diskutieren, ob eine allgemeine Schweißerqualifizierung für Schweißen an alten Stählen in Ergänzung zur üblicherweise an modernen Stählen erzielten Schweißerzulassung hilfreich wäre. Auch spezielle Schweißzusatzwerkstoffe könnten für eine bessere Verarbeitung alter Stähle von Interesse sein.
- Rissprüfungen nach Reparaturen müssen in zeitlichem Abstand zur Schweißung obligatorisch durchgeführt werden.

11.7 Zusammenfassung

Die Rheinbrücke Leverkusen hat wegen umfangreicher Schäden am Überbau der Strombrücke das Ende ihrer Nutzungsdauer nahezu erreicht. An den Planungen für einen Ersatzneubau wird deshalb intensiv gearbeitet. Die Außerbetriebnahme des bestehenden Bauwerks kann jedoch frühestens im Jahr 2020 erfolgen. Um den Verkehr bis dahin möglichst uneingeschränkt aufrechtzuerhalten, wurden einige teilweise sehr aufwändige Instandsetzungsmaßnahmen in die Wege geleitet. Trotzdem kann das Bauwerk für den LKW-Verkehr zurzeit nicht genutzt werden. Ob eine Wiederaufnahme überhaupt noch mal erfolgen kann ist ungewiss. Angesichts des derzeitigen Schadensbildes ist jedoch schon die Aufrechterhaltung des PKW-Verkehrs eine besondere Herausforderung. Trotz intensiver Überwachung durch die Polizei gibt es leider immer noch eine beträchtliche Anzahl von LKW, die die Brücke verbotswidrig befahren.

Im Rahmen der Instandsetzungsmaßnahmen wurden auch werkstoffspezifische Besonderheiten des Stahls aus den 1960er Jahren untersucht. Insbesondere konnte festgestellt werden, dass die Stähle mit den heute gewohnten Qualitäten eines S355J2 nicht übereinstimmen. So werden durchweg höhere Schwefel- und Phosphorgehalte gefunden. Daneben wurde insbesondere bei dünnen Blechen eine dopplungsähnliche, metallurgisch bedingte Schädigung angetroffen, die bei Wärmeeinwirkung, z. B. bei Brennschnitten, zu Delamination entlang des Blechkerns führen kann. Die Schweißeignung der Bleche ist aus werkstofftechnischer Sicht immer gegeben. Es ist jedoch nach den bisherigen Erfahrungen unbedingt erforderlich, die Vorgehensweise beim Schweißen an die hier genannten Besonderheiten anzupassen.

Da die Rheinbrücke Leverkusen sicherlich nicht die einzige Brücke mit derartigen Problemen ist, wird eine Übertragung der gewonnenen Kenntnisse auf andere Bauwerke angestrebt.

11.8 Literaturverzeichnis

- [1] DANIEL, H.; SCHUMANN, H.: Die Bundesautobahnbrücke über den Rhein bei Leverkusen. Stahlbau 36 (1967) 8, S. 225-236
- [2] BAST (Hrsg.): Instandsetzung und Verstärkung von Stahlbrücken unter Berücksichtigung des Belagssystems. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen (BAST), Brücken- und Ingenieurbau, Heft B 76, Bergisch Gladbach: Wirtschaftsverlag NW, 2011
- [3] KOCH, H. (Hrsg.): Handbuch der Technologie des Lichtbogenschweißens. Düsseldorf: DVS GmbH, 1961
- [4] DIN 17100: Allgemeine Baustähle; Gütenorm. Berlin: Beuth, 01/1980
- [5] EN 10025: Warmgewalzte Erzeugnisse aus Baustählen. Teile 1 bis 6, Berlin: Beuth 04/2011
- [6] DIN EN 10025-1: Warmgewalzte Erzeugnisse aus Baustählen – Teil 1: Allgemeine technische Lieferbedingungen; Deutsche Fassung prEN 10025-1:2011-04, Berlin: Beuth, 04/2011

11	Herzlich Willkommen zum 25. Dresdner Brückenbausymposium
15	Überall Brücken – von der Vielgestaltigkeit eines Gedankens
33	Brückenbau in Deutschland – eine Auswahl zukünftiger Schwerpunkte
37	25 Jahre Dresdner Brückenbausymposium – eine deutsche Erfolgsgeschichte
63	Bridge Architecture – from Structure to Elegance
69	Fußgängerbrücken – Entwurf und Konstruktion
83	Schlanke vorgespannte Fußgängerbrücke aus Textilbeton
99	Pilotanwendungen von Textilbeton für Verstärkungen im Brückenbau
113	Gustave Magnel – ein Wegbereiter der Spannbetonbauweise
131	Integrale Brücken im Wandel der Zeit
151	Dynamisch über das Saale-Elster-Tal – Bemessung und Konstruktion einer Stabbogenbrücke für den Eisenbahnhochgeschwindigkeitsverkehr
163	Sicherung der Rheinbrücke Leverkusen – von der Schadensaufnahme zum Instandsetzungsmanagement unter Berücksichtigung der Altstahlproblematik
181	Friedrichsbrücke Berlin – Denkmalgerechte Erneuerung und Anpassung der Friedrichsbrücke über die Spree – die Verbindung von zwei verschiedenartigen Brückenkonstruktionen
193	Egg-Graben-Brücke, Wildbrücke AM2, Lafnitzbrücke – Anwendung von neuen Bauverfahren für Brücken in Österreich
217	Feuerverzinken im Brückenbau – Anwendung und aktuelle Forschungsergebnisse
229	Das Schwergutgewerbe – Großraum- und Schwertransporte, Autokrane, Brückenbau
239	Massivbrücken unter extremen Wetterbedingungen
253	Brückenbauexkursion 2014 – Spurensuche in Deutschland
265	Chronik des Brückenbaus