



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>Magnifizienz 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

14 Feuerverzinken im Brückenbau – Anwendung und aktuelle Forschungsergebnisse

Holger Glinde
Institut Feuerverzinken

14.1 Einleitung

Stahlbauteile an Stahl- und Verbundbrücken wurden in Deutschland bisher zumeist durch Beschichtungen vor Korrosion geschützt, obwohl diese nur eine Schutzdauer von rund 25 bis 33 Jahren bieten und danach erneuert werden müssen. Die dauerhaftere Feuerverzinkung kam bisher selten zum Einsatz, da ihr Einfluss auf die Ermüdungsfestigkeit von zyklisch belasteten Bauteilen nicht ausreichend erforscht war. Aktuelle wissenschaftliche Untersuchungen belegen nun, dass eine Feuerverzinkung auch für dynamisch belastete Bauwerke wie Straßenbrücken geeignet ist. Zudem wurde der Nachweis für eine theoretische Korrosionsschutzdauer von 100 Jahren für stückverzinkte Brückenbauteile erbracht. Hierdurch wurde der Weg für das Feuerverzinken als Korrosionsschutz an Stahl- und Verbundbrücken freigemacht, ein Beispiel zeigt Bild 14.1. Studien zur Wirtschaftlichkeit zeigen, dass eine Feuerverzinkung nicht nur langfristig, sondern bereits bei den Erstkosten günstiger ist. In Nachhaltigkeitsvergleichen zeigen feuerverzinkte Stahlbauteile geringere Umweltauswirkungen als beschichtete Stahlbauteile.

Eine weitere Einsatzmöglichkeit der Feuerverzinkung ist der Korrosionsschutz von Bewehrungsstahl an Brückenbauwerken, speziell in tausalzbelasteten Bereichen sowie in konstruktiven Problemzonen mit geringer Betonüberdeckung. Die Dauerhaftigkeit von brückentypischen Verschleißteilen wie Brückenkappen, die in der Regel nach 30 Jahren erneuert werden müssen, kann hierdurch erheblich verbessert werden.

14.2 Feuerverzinkte Stahlkonstruktionen im Brückenbau

14.2.1 Forschungsprojekt „Feuerverzinken von Stahlbauteilen im Stahl- und Verbundbrückenbau“

Vorabbemerkung: Die Ausführungen in Abschnitt 14.2.1 wurden dem Forschungsbericht [1], teilweise mit geringfügigen Änderungen, entnommen.

Für den Korrosionsschutz von atmosphärisch beanspruchten Stahlbauteilen unter vorwiegend ruhender Beanspruchung hat sich das Feuerverzinken bewährt, eine Korrosionsschutzdauer von vielen Jahrzehnten ohne Wartung und Instandhaltung ist die Regel. Daher stimmt bei vielen feuerverzinkten Bauwerken die Korrosionsschutzdauer der Feuerverzinkung mit der Nutzungsdauer des Bauwerkes überein. Im Vergleich zu handelsüblichen, organischen Korrosionsschutzsystemen, die erfahrungsgemäß in Abständen von 25-33 Jahren erneuert werden müssen, ist Feuerverzinken unter Einbezug der Nutzungsdauer von Stahlbauten die wirtschaftlichste Korrosionsschutzmaßnahme. Für den Einsatz der Feuerverzinkung im Stahl- und Verbundbrückenbau fehlten bisher grundlegende wissenschaftliche Untersuchungen zum Ermüdungsverhalten feuerverzinkter Brückenkonstruktionen und -details unter zyklischen Verkehrsbeanspruchungen. Die Regelungen im Eurocode 3 (DIN EN 1993-2:2010-12) bzw. Eurocode 4 (DIN EN 1994-2:2010-12) für den im Brückenbau notwendigen Ermüdungsnachweis gelten nicht für feuerverzinkte Bauteile, der Anwender hatte bisher somit keine Möglichkeit, feuerverzinkte Brücken auf Basis geltender Normen bzw. Regelwerke gegen Werkstoffermüdung auszulegen. Des Weiteren waren wissenschaftliche Untersuchungen zum Korrosionsschutzverhalten einer Feuerverzinkung vor dem Hintergrund einer 100-jährigen Nutzungsdauer einer Brücke bei aktuellen klimatischen Umweltbedingungen zu erbringen.

Ziel dieses Forschungsvorhabens war die Erarbeitung und Bereitstellung der wissenschaftlich und technisch erforderlichen Grundlagen zur Verwen-



Bild 14.1: An der Stoneham-Brücke in Quebec kamen feuerverzinkte Stahlbauteile und feuerverzinkter Bewehrungsstahl zum Einsatz. (Foto: American Galvanizers Association)

derung der Feuerverzinkung im zyklisch beanspruchten Stahl- und Verbundbrückenbau bei einer angestrebten Nutzungsdauer von 100 Jahren.

Dazu wurde im Rahmen des Forschungsprojekts Feuerverzinken im Stahl- und Verbundbrückenbau unter der Federführung der TU Dortmund zusammen mit der staatlichen Materialprüfungsanstalt und dem Institut für Werkstoffkunde (MPA-IfW) der TU Darmstadt der Einfluss der Feuerverzinkung auf das Ermüdungsverhalten an Stahl- und Verbundbrückenkonstruktionen kleiner und mittlerer Spannweiten untersucht. Des Weiteren erfolgten Untersuchungen am Institut für Korrosionsschutz Dresden GmbH (IKS Dresden GmbH) zur Schutzdauer der Feuerverzinkung des Stahlbaus sowie thermisch gespritzter Zinküberzüge für Montageschweißstöße bei verschiedenen korrosiven Belastungen zum Nachweis einer angestrebten Nutzungsdauer der Stahl- und Verbundbrückenkonstruktionen von 100 Jahren. Die Struktur des Forschungsprojektes ist schematisch in Bild 14.2 dargestellt.

Zusammenfassung der Forschungsergebnisse

Durch ein breites Spektrum an Ermüdungsversuchen konnte nachgewiesen werden, dass eine Feuerverzinkung die Dauerfestigkeit von Baustahl im Vergleich zum unverzinkten Zustand signifikant

verringert. Als ursächlich für den Abfall der Dauerfestigkeit wird die Ausbildung des Zinküberzuges mit den im unbelasteten Ausgangszustand vorhandenen Mikrorissen in der δ_1 -Phase angesehen. Diese Mikrorisse wachsen unter einer Ermüdungsbeanspruchung in das Grundmaterial bzw. begünstigen die Rissbildung im Grundwerkstoff durch eine mikrokerbbedingte Spannungsüberhöhung. Für die Bemessung von Brücken kleinerer und mittlerer Spannweite nach den Regeln des Eurocode 3-1-9:2010-12 ergeben sich jedoch nur moderate Abminderungen um maximal einen Kerbfall für die geprüften Konstruktionsdetails. Dies führt nicht zwingend zu der Notwendigkeit einer Vergrößerung der Querschnitte, da der Nachweis gegen Werkstoffermüdung in diesem Spannweitenbereich häufig nicht maßgebend für die Querschnittswahl ist.

Die Untersuchungen zu den aktuellen Korrosivitäten in Deutschland belegen, dass die atmosphärische Belastung im Vergleich zum Jahr 1983 deutlich verringert ist und der Korrosionsschutz des Konstruktionsstahls durch eine Feuerverzinkung für die Nutzungsdauer von 100 Jahren theoretisch und ohne nennenswert zusätzlichen Aufwand umsetzbar ist. Auslagerungsversuche an einer Brücke über eine Autobahn zeigen, dass unter dem dort vorherrschenden Mikroklima von einer Korrosivitätskategorie C4 auszugehen ist.

Auf Basis der ausgelagerten Proben kann gezeigt werden, dass mit im Stahlbau üblichen Zinküberzugsdicken von $>200 \mu\text{m}$ Korrosionsschutzdauern von 100 Jahren erreicht werden können. Durch die Versuche zur Ausbesserung praxisrelevanter Baustellenschweißstöße mit thermisch gespritzten Zinküberzügen und die Identifizierung von möglichen Fehlerquellen, konnte zudem eine geeignete Ausbesserungstechnologie auf Basis der Spritzverzinkung entwickelt werden.

Das vorgestellte Forschungsvorhaben Feuerverzinken im Stahl- und Verbundbrückenbau zeigt, dass die Feuerverzinkung als Korrosionsschutz für dynamisch belastete Stahl- und Verbundbrücken kleiner und mittlerer Spannweiten geeignet ist. Die erarbeiteten Ergebnisse sind in einer Arbeitshilfe zur Anwendung der Feuerverzinkung im Stahl- und Verbundbrückenbau anwendungsgerecht aufbereitet und können direkt technisch umgesetzt werden.

14.2.2 Wirtschaftlichkeit von feuerverzinkten Stahlkonstruktionen im Brückenbau

Im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) [2] wurde durch die Universität Stuttgart die Wirtschaftlichkeit von beschichteten und feuerverzinkten Brückenbauwerken am Beispiel einer Brücke in integraler Verbundbauweise mit einer Spannweite von 45 Metern verglichen. Die Untersuchung kam zu dem Ergebnis, dass die feuerverzinkte Brücke in allen Kostenkategorien gegenüber der beschichteten Brücke kostengünstiger ist. In der Untersuchung lagen die Herstellkosten der feuerverzinkten Brücke um 0,5 Prozent unter den Herstellkosten der beschichteten Brücke. Hierbei ist jedoch zu berücksichtigen, dass aufgrund preislicher Bandbreiten dieser Herstellungskosten vorteil nicht in allen Fällen eintreten muss. Betrachtet man die Lebenszykluskosten über einen Nutzungszeitraum von 100 Jahren, wird durch die feuerverzinkte Brücke eine Kostenersparnis von 10 Prozent bezogen auf die Gesamtkosten erreicht. Durch Wartungs- und Instandsetzungsarbeiten an Brücken kommt es zumeist zu einer Behinderung von Verkehrsteilnehmern, die sich in verlängerten Fahrzeiten sowie erhöhten Kraftstoffverbräuchen und erhöhtem Fahrzeugverschleiß durch Stop-&-Go-Fahrweise ausdrückt. Dies lässt sich wirtschaftlich als sogenannte externe Kosten beziffern. Die externen Kosten der feuerverzinkten Brücke liegen rund 20 Prozent niedriger als bei der untersuch-

ten beschichteten Brücke, was in absoluten Zahlen rund 700.000 Euro ausmacht.

In der an der Technischen Universität Dresden durchgeführten Studie Beschichtungssysteme für den Korrosionsschutz von Brückenbauwerken im Wirtschaftlichkeitsvergleich [3] wurden empirisch an Hand des Neubaus einer Stahlverbundbrücke die anfallenden Korrosionsschutzkosten für eine organische Beschichtung und eine Feuerverzinkung bei einer Brücken-Nutzungsdauer von 100 Jahren bestimmt. Für die Beschichtung wurden Volle Erneuerungen nach 33 und nach 66 Jahren zu Grunde gelegt. Die Schutzdauer der Feuerverzinkung entspricht der Nutzungsdauer ohne zusätzliche Instandsetzungen. Die Erstschutzkosten der Beschichtung lagen um 14 Prozent über den Erstschutzkosten der Feuerverzinkung. Bei der Betrachtung der gesamten Korrosionsschutzkosten über 100 Jahre inklusive der Kosten für Bauwerkprüfungen lagen die Beschichtungskosten bei einem Diskontierungssatz von 3 Prozent um 50 Prozent über den Kosten für die Feuerverzinkung.

14.2.3 Nachhaltigkeit von feuerverzinkten Stahlkonstruktionen im Brückenbau

Für feuerverzinkte Baustähle ist seit Oktober 2013 eine drittgeprüfte Umweltproduktdeklaration (EPD) mit der Deklarationsnummer EPD-BFS-20130173-IBG1-DE [4] verfügbar. Sie zeigt die Umweltauswirkungen von feuerverzinkten Baustählen bezogen auf die deklarierte Einheit 1 Tonne feuerverzinkten Baustahls. Die EPD belegt unter anderem, dass der Beitrag der Feuerverzinkung am Gesamtprodukt feuerverzinkter Baustahl vergleichsweise niedrig ist (Bild 14.3). Für beschichtete Baustähle bzw. für Korrosionsschutz-Beschichtungen liegt keine aussagekräftige EPD vor, die den kompletten Beschichtungsprozess von der Herstellung der Beschichtungsstoffe bis zur Applikation abbildet. Vor diesem Hintergrund sind auf Umweltproduktdeklarationen bezogene Vergleiche zwischen beschichteten und feuerverzinkten Baustählen nicht möglich.

Ergebnisse aus laufenden wissenschaftlichen Untersuchungen, in denen feuerverzinkte mit beschichteten Brücken unter Nachhaltigkeitsaspekten verglichen werden, sind noch nicht veröffentlicht, aber in Kürze zu erwarten. Allerdings hat die Technische Universität Berlin in einer vergleichenden Ökobilanzstudie den Korrosionsschutz durch Feuerverzinken gemäß DIN EN ISO 1461:1999-03 mit einer Beschichtung gemäß DIN EN ISO 12944,

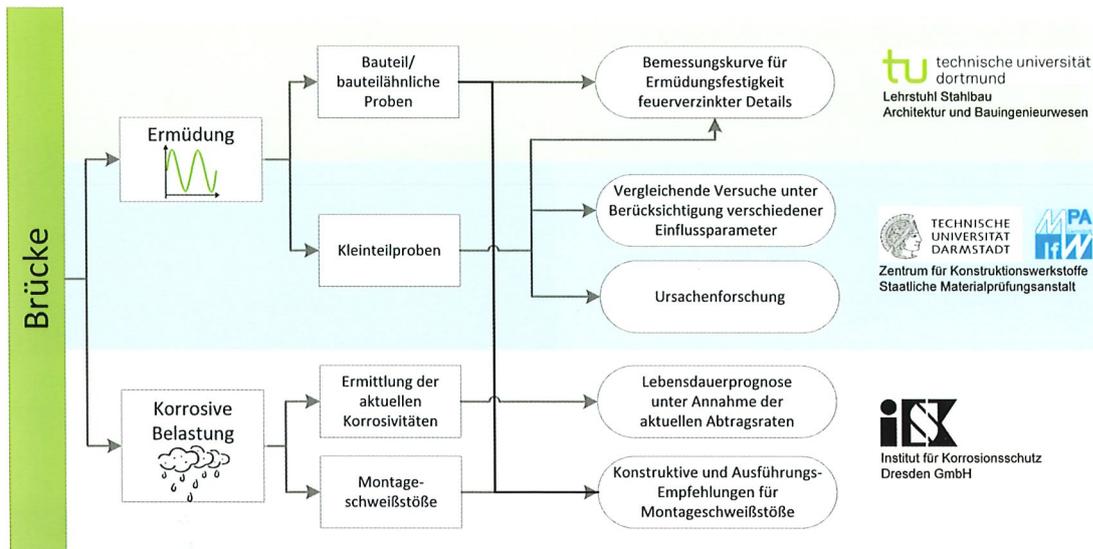


Bild 14.2: Schematische Darstellung der Aufteilung der experimentellen Untersuchungen (aus [1])

Relative Beiträge der Stahlherstellung und Feuerverzinken zu ausgewählten Wirkungskategorien

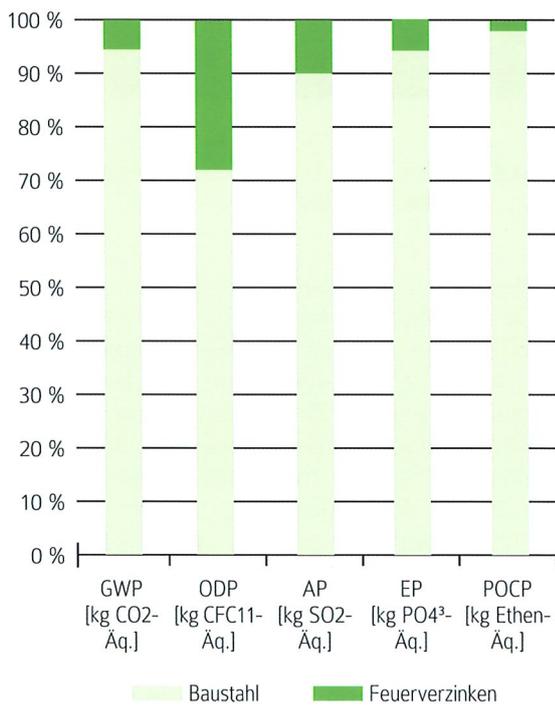


Bild 14.3: Relative Beiträge der Stahlherstellung und Feuerverzinken zu ausgewählten Wirkungskategorien [4]

Teil 5:1998-07 am Beispiel eines Parkhauses in Stahlbauweise untersucht [5]. Als Grundlage wurde eine Nutzungsdauer des Bauwerkes von 60 Jahren in der Korrosivitätskategorie C3 angenommen. Für die Beschichtung wurde eine zweimalige Instandsetzung angesetzt. Die Feuerverzinkung bedarf während der gesamten Nutzungsdauer keiner Wartung. Die Studie belegt, dass der Korrosionsschutz durch Feuerverzinken in allen untersuchten Umweltwirkungskategorien niedrigere Werte aufweist (Bild 14.4) als das Beschichtungssystem und deshalb als nachhaltiger eingestuft werden kann. Bezogen auf einen brückentypischen Nutzungszeitraum von 100 Jahren ist anzunehmen, dass der Unterschied zugunsten der Feuerverzinkung noch größer wird.

14.2.4 Anwendungsbeispiele und case histories

Auch wenn aktuelle Forschungsergebnisse den Weg für eine breite Anwendung der Feuerverzinkung im Straßenbrückenbau erst jetzt freigemacht haben, gibt es bereits umfassende Langzeiterfahrungen mit existierenden feuerverzinkten Stahl- und Verbundbrücken, vorwiegend außerhalb Deutschlands. Einige sollen kurz vorgestellt werden.

Lydlinch-Brücke (Baujahr 1942)

Im Jahr 1942 errichteten kanadische Truppen in Vorbereitung des D-Days im britischen Lydlinch eine mobile Brücke (Bild 14.5). Eine Inspektion im Okto-

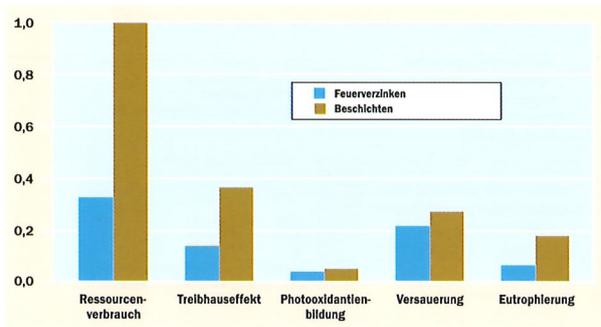


Bild 14.4: Ökobilanzieller Vergleich Feuerverzinken und Beschichten der TU Berlin [5]



Bild 14.5: Baujahr 1942: Die feuerverzinkte Lydlinch-Brücke (Foto: Iqbal Johal)

ber 2014 kam zu dem Ergebnis, dass sich die feuerverzinkte Stahlkonstruktion der Brücke noch immer in einem sehr guten Zustand befindet [6]. Messungen an den Stahlprofilen ergaben Zinkschichtdicken zwischen 126 und 167 Mikrometer. An den Schraubenköpfen wurden Zinkschichten zwischen 55 und 91 Mikrometer festgestellt. In den 72 Jahren Standzeit mussten die Holzbohlen der Brücke erneuert werden. An der feuerverzinkten Stahlkonstruktion wurden während dieser Zeit keinerlei Instandhaltungsarbeiten durchgeführt. Lediglich im Jahr 1996 mussten an der Konstruktion verstärkende feuerverzinkte Profile angebracht werden, damit auch 40-Tonnen-Trucks die Brücke überqueren können. Aufgrund der gemessenen Zinkschichtdicken wird die Lydlinch-Brücke weitere 50 Jahre korrosionsfrei sein.

Shin-Nukui-Brücke (Baujahr 1964)

In Japan gibt es weit über 700 feuerverzinkte Stahlbrücken. Die 1964 erbaute Brücke über den Shin-Nukui ist eine der ältesten. Bei einer Überprüfung der Brücke im Jahr 2006, nach 42 Jahren Standzeit, zeigte sich die Brücke in einem rostfreien Zustand (Bild 14.6). Die bei der Überprüfung gemessenen Zinkschichtdicken lagen zwischen 137 und 166 Mikrometer. Die Brücke hat damit das Potenzial, über 100 Jahre alt zu werden [7].

Höllmecke-Brücke (Baujahr 1987)

Seit 1987 überspannt die feuerverzinkte Höllmecke-Brücke die Lenne bei Werdohl (Nordrhein-Westfalen). Rund 60 Meter lang ist die Brücke mit Spannweiten von je 30 Metern. Im Mai 2014, das heißt nach 27 Jahren Standzeit, wurde die Bogenbrücke inspiziert [7]. Die visuelle Prüfung ergab keine erkennbare Korrosion. Der Gesamteindruck weist ein optisch unterschiedliches Erscheinungsbild auf (Bild 14.7). Die obenliegenden Bögen zeigen auf



Bild 14.6: Baujahr 1964: Die feuerverzinkte Shin-Nukui-Brücke (Foto: HDGASA)

der Oberseite und teilweise an den Seitenflächen braune Verfärbungen. Messungen der Zinkschichtdicken belegen, dass es sich hierbei nicht um Korrosion an der Stahlkonstruktion, sondern um eine Braunfärbung des Zinküberzuges handelt. Alle weiteren feuerverzinkten Stahlbauteile sind verzinkungstypisch hellgrau mit ausgeprägtem Zinkblumenmuster. Die gemessenen Zinkschichtdicken liegen zwischen 150 und mehr als 500 Mikrometern. Ähnlich wie die Lier-Brücke (s. u.) muss die Höllmecke-Brücke trotz ländlicher Lage aufgrund der Nähe zum Wasser in die Kategorie C3 eingeordnet werden. Damit ergibt sich eine rechnerische Schutzdauer für weitere 75 Jahre und mehr.

Lier-Brücke (Baujahr 1993)

Über dem Nete-Kanal im belgischen Lier wurde 1993 eine Verbundträger-Brücke aus feuerverzinktem Stahl gebaut. Sie hat eine Gesamtlänge von 90 Metern mit Spannweiten von 40 bzw. 25 Metern. Die Feuerverzinkung der Brücke wurde im Ju-



Bild 14.7: Baujahr 1987: Die feuerverzinkte Hölmecke-Brücke (Foto: Institut Feuerverzinken)

ni 2014 überprüft [7]. Nach einer Nutzungszeit von 21 Jahren befindet sich die Feuerverzinkung in einem hervorragenden Zustand (Bild 14.8). Es wurden keine Mängel festgestellt. Die stichprobenartig gemessenen Schichtdicken der Brücke lagen weit über 300 Mikrometer. Obwohl die Lier-Brücke in einem ländlichen Gebiet liegt, muss sie, wie bereits erwähnt, aufgrund der unmittelbaren Nähe zum Nete-Kanal und damit verbundener regelmäßiger Befeuchtung in die Korrosivitätskategorie C3 eingeordnet werden. Bei einer Belastung gemäß Korrosivitätskategorie C3 liegt der Zink-Abtrag bei bis zu 2 Mikrometern pro Jahr. Es ist mit einer weiteren Korrosionsschutzdauer von mehr als 150 Jahren für die Brücke zu rechnen.

14.3 Feuerverzinkter Bewehrungsstahl im Brückenbau

Beton ist an Brückenkonstruktionen vielfältigen Belastungen ausgesetzt. Risse und Fugen, unzureichende Betonüberdeckung, Tausalzeinflüsse sowie die atmosphärisch bedingte Versauerung sind potenzielle Auslöser für Korrosion am Bewehrungsstahl von Brückenbauwerken. Durch die korrosionsbedingte Volumenvergrößerung des Bewehrungsstahls kommt es zum Absprennen des Betons mit entsprechenden Folgeschäden. Die-

ser Wirkungsmechanismus kann durch den Einsatz von feuerverzinktem Bewehrungsstahl langfristig vermindert werden. Dies gilt nicht nur für stark belastete Brückenkappen, sondern für alle korrosionsbelasteten Betonbauteile einer Brücke.

Bewehrungskorrosion an Brücken

An vielen Brücken treten früher oder später nur schwer oder gar nicht sanierbare Schäden durch Bewehrungskorrosion auf, da der „natürliche“ Schutz der Bewehrung durch Passivierung, bedingt durch die hohe Alkalität des Betons, verloren geht. Typische Ursachen für Bewehrungskorrosion sind Fehlstellen im Beton durch Risse, Fugen, Kiesnester, fehlerhafte Betonüberdeckung, die Versauerung des Betons durch das Kohlendioxid der Luft (Karbonatisierung) und saure Substanzen, das Einwirken von Chloriden durch Tausalzbelastung oder Meeresatmosphäre sowie mechanische Beschädigungen. Die Folge sind Betonabplatzungen (Rosttreiben) und damit verbundene Gefährdungen des Straßenverkehrs- sowie langfristig der Verlust der Standsicherheit (Bild 14.9).

Anwendung von feuerverzinktem Bewehrungsstahl im Brückenbau

Die Verwendung von feuerverzinktem Bewehrungsstahl empfiehlt sich an allen Brückenbauwerken, die regelmäßig Tausalzen ausgesetzt sind oder in Meerwasserbereichen stehen. Feuerver-



Bild 14.8: Baujahr 1993: Die feuerverzinkte Liebrücke (Foto: Institut Feuerverzinken)



Bild 14.9: Bewehrungskorrosion unter einer Autobahnbrücke der A 661 bei Frankfurt (Foto: Karl-Heinz Wellmann)

zinkte Bewehrungsstähle sind nämlich auch unter Chloridbelastung deutlich beständiger als unverzinkte. Die Chloride werden von der Verzinkung als schwerlösliche basische Zinkchloride abgebunden und unschädlich gemacht. Die typische Volumenvergrößerung durch Korrosion und als Folge das Absprengen des Betons wird verhindert. Feuerverzinkter Bewehrungsstahl kann an allen tragenden Brückenbauteilen zum Einsatz kommen. Besonders belastet sind die Brückenkappen, da hier ins-

besondere im Bereich des durch Schneeräumfahrzeuge mechanisch beanspruchten Schrammbordes und an der Gesimsunterkante Bewehrungskorrosion prioritär auftritt. Da Brückenkappen aus unverzinktem Stahl in der Regel nach ca. 30 Jahren erneuert werden müssen, besteht sowohl beim Neubau von Brücken als auch im Sanierungsfall die Möglichkeit, feuerverzinkten Bewehrungsstahl zu verwenden (Bild 14.10).

Ausführung von feuerverzinktem Bewehrungsstahl

Feuerverzinkter Bewehrungsstahl ist ein zugelassenes Bauprodukt. Die Herstellung und Anwendung wird in der allgemeinen bauaufsichtliche Zulassung Z-1.4-165 [8] geregelt. Zusätzliche Nachweise sind nicht notwendig. Gemäß dieser Zulassung dürfen feuerverzinkte Betonstähle wie unverzinkte Betonstähle zur Bewehrung von Stahlbeton nach DIN EN 1992-1-1:2011-01 (Eurocode 2) unter Beachtung der Regeln dieser Zulassung verwendet werden. DIN EN 1992-1-1:2011-01 gilt stets zusammen mit dem nationalen Anhang DIN EN 1992-1-1/NA:2013-04.

Erfahrungen mit feuerverzinktem Betonstahl im Brückenbau

Langzeituntersuchungen aus den USA [9], wo verzinkter Betonstahl seit Jahrzehnten verwendet wird, beweisen den hochwirksamen Schutz der

Tabelle 14.1: Chlorid- und Schichtdickenmessungen an Beton-Brückenbauwerken mit feuerverzinktem Bewehrungsstahl in den USA (Quelle: International Zinc Association [9])

Brücke und Ort	Erbaut Jahr	Inspektion Jahr	Chloride lb/yd ³	Zinkschichtdicke µm
Boca-Chica-Brücke, Florida	1972	1999	3,21	170
Tioga-Brücke, Pennsylvania	1974	2001	2,23	198
Curtis-Road-Brücke, Michigan	1976	2002	6,88	155
Spring-Street-Brücke, Vermont	1971	2002	4,17	191
Evanston Interchange, Wyoming	1975	2002	2,55	236

**Bild 14.10:** Einsatz von feuerverzinktem Bewehrungsstahl an Brückenkappen (Foto: Institut Feuerverzinken)

Feuerverzinkung. Messungen an Betonbrücken zeigten, dass der verwendete feuerverzinkte Bewehrungsstahl nach 26 bis 29 Jahren Nutzungsdauer noch immer hohe Zinkschichtdicken aufwies, die zwischen 155 und 236 Mikrometer betragen (Tabelle 14.1). Die untersuchten Brücken waren regelmäßig Tausalzen bzw. Salzeinflüssen durch unmittelbare Meeresnähe ausgesetzt. Im Hinblick auf eine unmittelbare Übertragbarkeit auf europäische Verhältnisse ist zu berücksichtigen, dass in den USA abweichende Zementzusammensetzungen verwendet werden.

Links und Download:

- Der GAV-Bericht Nr. 164 [1] zum Forschungsprojekt „Feuerverzinken von Stahlbauteilen im Stahl- und Verbundbrückenbau“ ist als kostenloser Download verfügbar unter: <http://www.gav-verzinken.de/index.php?id=14>.
- Der Bericht zum Forschungsvorhaben P 835 / IGF-Nr. 351 ZBG „Feuerverzinken im Stahl- und Verbundbrückenbau“ kann hier eingesehen werden: http://www.stahl-online.de/wp-content/uploads/2013/09/P835_Feuerverzinken_Stahl_Verbundbrueckenbau.pdf.
- Eine Broschüre mit einer Arbeitshilfe zur Planung und Ausführung von feuerverzinkten Stahlkonstruktionen im Straßenbrückenbau kann kostenlos bestellt werden unter: www.feuerzinken.com/bruecken.
- Die aktuelle bauaufsichtliche Zulassung Z-1.4-165 für feuerverzinkte Betonstähle steht als kostenfreier Download unter www.feuerzinken.com/betonstahl zur Verfügung.

Alle Internetlinks wurden am 21.1.2015 geprüft.

14.4 Literaturverzeichnis

- [1] UNGERMANN, D.; RADEMACHER, D.; OECHSNER, M.; SIMONSEN, R.; LEBELT, P.: Feuerverzinken im Stahl- und Verbundbrückenbau. Gemeinschaftsausschuss Verzinken (GAV; Hrsg.), Bericht Nr. 164, 2014

- [2] ROGALSKI, E.: Verzinkte Brücken. Vortrag beim Expertengespräch Stahlbrückenbau, Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach, 2014
- [3] REBEL, A.: Beschichtungssysteme für den Korrosionsschutz von Brückenbauwerken im Wirtschaftlichkeitsvergleich. Diplomarbeit, Technische Universität Dresden, 2014
- [4] Umweltproduktdeklaration „Feuerverzinkte Baustähle – Offene Walzprofile und Grobbleche“ (Deklarationsnummer EPD BFS-20130173-IBG1-DE), Institut für Bauen und Umwelt e.V., Berlin, 2013
- [5] FLEISCHER, G.; ACKERMANN, R.; MATYSCHIK, J.: Ökobilanzieller Vergleich von Korrosionsschutzsystemen für Stahlbauten. TU Berlin, 2006
- [6] JOHAL, I.: Seventy two years young – Lydlinch Bridge, Dorset. Hot Dip Galvanizing 4 (2014), S. 12-13
- [7] GLINDE, H.: Noch selten, aber dauerhaft – Feuerverzinkte Straßenbrücken in der Praxis. In: Industrierverband Feuerverzinken e.V. (Hrsg.): Feuerverzinken Special „Dauerhaftigkeit in der Praxis“, 2014, S. 18-23
- [8] Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Z-1.4-165: Feuerverzinkte Betonstähle, 20.11.2014, Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt), Berlin
- [9] International Zinc Association (IZA): Examples of use of Galvanized Reinforcement in Highways and Bridges. 2013, s. auch www.galvanizedrebar.com & <http://www.galvanizedrebar.com/Documents/Publication/table1.pdf> (Zugriff am 21.1.2015)

- 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