



FEUERVERZINKEN SPECIAL

Special-Ausgabe
Internationale Fachzeitschrift
www.feuerverzinken.com

Feuerverzinken im Brückenbau

Straßenbrücken sind jetzt feuerverzinkbar | Dauerhafte Praxisbeispiele |
Feuerverzinkter Betonstahl im Brückenbau | Stahl-Verbund-Brücke in Kanada |
BASt-Studie: Verzinkte Brücken sparen Kosten | Bogenbrücke in Borneo |
Planungshilfe für verzinkte Brücken



1 | *Feuerverzinkte Stahl- und Verbundbrücken können heute schon mit Zustimmung im Einzelfall realisiert werden.*

2 | *An der Bundesautobahn A44 wird derzeit eine feuerverzinkte Verbundbrücke als sogenanntes Demonstratorvorhaben erbaut. Weitere werden folgen.*

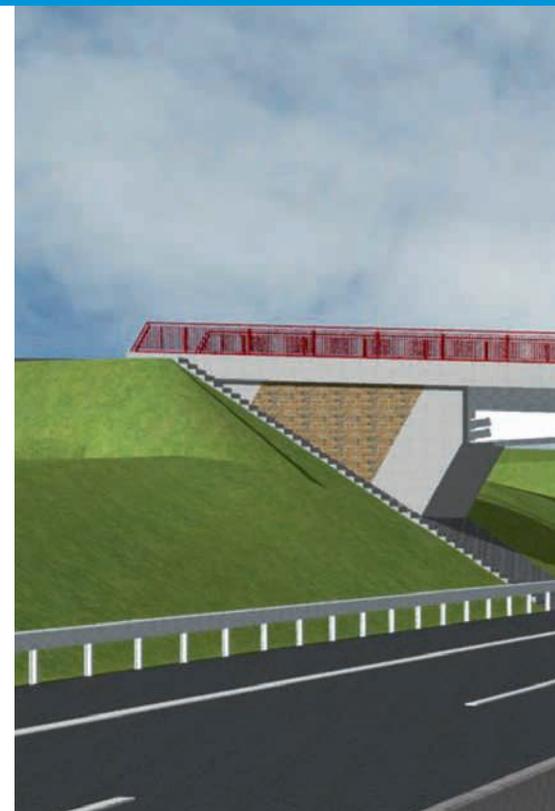
Straßenbrücken sind jetzt feuerverzinkbar

Neue Forschungsergebnisse machen den Weg frei

Stahl- und Verbundbrücken für Verkehrszwecke wurden in Deutschland bisher zumeist durch Beschichten vor Korrosion geschützt, das nur eine Schutzdauer von rund 25 Jahren bietet. Die um ein vielfaches dauerhaftere Feuerverzinkung kam bisher selten zum Einsatz, da ihr Einfluss auf die Ermüdungsfestigkeit von zyklisch belasteten Bauteilen nicht ausreichend erforscht war.

Aktuelle wissenschaftliche Untersuchungen mit Förderung durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie beweisen nun, dass eine Feuerverzinkung auch für dynamisch belastete Bauwerke wie Straßenbrücken geeignet ist. Hierdurch wird der Weg für das Feuerverzinken als Korrosionsschutz an Stahl- und Verbundbrücken frei gemacht. Zudem wurde der Nachweis für eine theoretische Korrosionsschutzdauer von 100 Jahren für stückverzinkte Brückenbauteile erbracht.

Laut einer Studie des Deutschen Instituts für Urbanistik (difu) zum „Ersatzneubau kommunaler Straßenbrücken“ sind rund 10.000 Straßenbrücken in Deutschland nicht mehr sanierbar und müssen in den nächsten Jahren komplett erneuert werden. Während an Betonbrücken primär Schäden durch Risse und Durchfeuchtungen zum Ersatzneubau führen, sind es bei Stahl- und Stahlverbundbrücken überwiegend Korrosionsschäden. Durch Feuerverzinken können diese Korrosionsschäden zukünftig verhindert werden.



Für Brückenbauwerke wird in der Regel eine Lebensdauer von mindestens 100 Jahren gefordert. Werden Stahl- und Verbundbrücken durch Beschichten vor Korrosion geschützt, dann ist die Beschichtung erfahrungsgemäß nach rund 25-30 Jahren zu erneuern. Bezogen auf 100 Jahre sind neben einer Erstbeschichtung in der Regel drei Erneuerungsbeschichtungen erforderlich, die nicht nur Kosten, sondern zumeist auch erhebliche Verkehrsstörungen verursachen. Kommt eine Feuerverzinkung zum Einsatz, so ist bei Zinküberzugsdicken von mindestens 200 Mikrometer eine Korrosionsschutzdauer von 100 Jahren in der Regel erreichbar.

Stahl- und Verbundbrücken sind zyklischen Belastungen ausgesetzt, die einen Nachweis gegen Werkstoffermüdung gemäß DIN EN 1993-2 und DIN EN 1994-2 erfordern. Feuerverzinkte Bauteile sind bislang nicht in der Bemessungsnorm erfasst. Um die grundsätzliche Eignung der Feuerverzinkung für zyklisch belastete Brückenbauteile zu erbringen, wurden Versuche zur Ermüdungsfestigkeit an für den Brückenbau typischen Details (Kerbfällen) im feuerverzinktem und unverzinktem Zustand durchgeführt. Die an dem Forschungsprojekt beteiligten Wissenschaftler der Technischen Universität Dortmund, der MPA Darmstadt und des Instituts für Korrosionsschutz Dresden kamen zu dem Ergebnis, dass die Feuerverzinkung für den Einsatz an zyklisch belasteten Brückenbauteilen geeignet ist, wenn bestimmte Konstruktions- und Ausführungsaspekte berücksichtigt werden. Diese sind in einer Arbeitshilfe zur Anwendung der Feuerverzinkung im Stahl- und -Verbundbrückenbau dargestellt (s. S. 18).

Als Ergebnis des Forschungsvorhabens befindet sich derzeit im Rahmen eines Pilotprojektes eine feuerverzinkte Stahl-Verbundbrücke an der Autobahn A44 im Bau. Wie diese Brücke können schon jetzt auch weitere feuerverzinkte Stahl- und -Verbundbrücken über eine Zustimmung im Einzelfall problemlos baurechtlich zugelassen werden.

Fotos | **DEGES**



Broschüre „Feuerverzinkte Stahl- und Verbundbrücken“ bestellen und weitere Informationen zum Thema:

www.feuerverzinken.com/bruecken

Fazit:

Durch den Einsatz der Feuerverzinkung können Brückenbauwerke zukünftig deutlich nachhaltiger und wirtschaftlicher als bisher ausgeführt werden. Vor dem Hintergrund eines Ersatzbedarfes von rund 10.000 Straßenbrücken in Deutschland in den nächsten Jahren ist das Feuerverzinken von Stahl- und Verbundbrücken der richtige Weg um Instandhaltungskosten sowie Staus durch Instandhaltungsarbeiten drastisch zu minimieren.





Noch selten, aber dauerhaft

Feuerverzinkte Straßenbrücken in der Praxis

- 1 | *Die 1993 erbaute feuerverzinkte Lier-Brücke über dem Nete-Kanal ist in einem hervorragendem Zustand.*
- 2 | *Die gemessenen Zinkschichtdicken der Lier-Brücke lagen weit über 300 Mikrometer.*

Auch wenn gerade erst aktuelle Forschungsergebnisse den Weg für eine breite Anwendung der Feuerverzinkung im Straßenbrückenbau frei gemacht haben, gibt es bereits sehr positive Langzeiterfahrungen mit existierenden feuerverzinkten Stahl- und Verbundbrücken. Dies zeigen Untersuchungen in Europa und Kanada. Die Untersuchungen belegen, dass eine Feuerverzinkung im Straßenbrückenbau Schutzzeiträume von 100 Jahren problemlos erreichen kann.



Wie neu: Lier-Brücke (BJ 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 Juni 2014 überprüft. Nach einer Nutzungszeit von 21 Jahren befindet sich die Feuerverzinkung in einem hervorragenden Zustand. 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 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 Mikrometer pro Jahr. Es ist mit einer weiteren Korrosionsschutzdauer von mehr als 150 Jahren für die Brücke zu rechnen.

Ohne Korrosion: Höllmecke-Brücke (BJ 1987)

Seit 1987 überspannt die feuerverzinkte Höllmecke-Brücke die Lenne bei Werdohl. 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. Die visuelle Prüfung ergab keine erkennbare Korrosion. Der Gesamteindruck weist ein optisch unterschiedliches Erscheinungsbild auf. Die oben liegenden Bögen zeigen auf 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 variieren stark und liegen zwischen 150 und mehr als 500 Mikrometer. Ähnlich wie die Lier-Brücke 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.



3 | Keine Korrosion: Mehr als 500 Mikrometer Schichtdicke an einem Zinküberzug mit Braunfärbung.

4 | An der 1987 erbauten feuerverzinkten Höllmecke-Brücke ist keine Korrosion erkennbar.

5 | Die 27 Jahre alte Höllmecke-Brücke hat das Potential für weitere 75 rostfreie Jahre.





Bald 100 Jahre: Ehzer-Brücke (BJ 1945)

1945 erbauten kanadische Truppen die Ehzer-Brücke im holländischen Almen. Die mobile Militärbrücke aus feuerverzinktem Stahl ist seit rund 70 Jahren im Einsatz. 1982, 2007 und 2014 wurde die Brücke inspiziert. Bei der Inspektion im Jahr 2007 befand sich die Brücke in einem guten Zustand. Alle gemessenen Zinkschichten wiesen nach mehr als 60 Jahren Dicken zwischen 69 und 219 Mikrometer auf. Bei einer erneuten Inspektion im Jahr 2014 wurden ähnliche Zink-Schichtdicken gemessen wie im Jahr 2007, die der Brücke das Potenzial geben 100 Jahre alt zu werden. Dennoch wurde die Brücke in 2014 zusätzlich beschichtet. Das so entstandene Duplex-System aus einer Feuerverzinkung und einer Beschichtung gibt der Brücke sogar die Chance für zusätzliche Jahrzehnte Lebensdauer jenseits der 100.

6 | *Seit rund 70 Jahren als Provisorium im Einsatz: Die feuerverzinkte Ehzer-Brücke.*

7 | *Die feuerverzinkte Ehzer-Brücke hat die Chance weit über 100 Jahre alt zu werden.*

Impressum

Feuerverzinken – Internationale Fachzeitschrift der Branchenverbände in Deutschland, Großbritannien und Spanien.

Redaktion: Holger Glinde (Chefredakteur), Iqbal Johal, Javier Sabadell

Verlag: Institut Feuerverzinken GmbH, Geschäftsführer: Mark Huckshold

Anschrift Redaktion, Verlag, Herausgeber: Graf-Recke-Str. 82, 40239 Düsseldorf, Telefon: (02 11) 69 07 65-0, Telefax: (02 11) 69 07 65-28, E-Mail: info@feuerverzinken.com, Internet: www.feuverzinken.com

Druckerei: Bösmann Medien und Druck GmbH & Co. KG, Ohmstraße 7, 32758 Detmold

Nachdruck nur mit ausdrücklicher, schriftlicher Genehmigung des Herausgebers

Feuerverzinken vs. Beschichten: Leaside Brücke (BJ 1927/1969)

Die Leaside-Brücke in Toronto mit einer Länge von 400 Metern wurde 1927 als beschichtete Stahlbrücke erbaut. 1969 wurde die vierspurige Brücke auf sechs Spuren erweitert. Die Erweiterung erfolgte mit feuerverzinktem Stahl, da dieser bereits bei den Erstkosten wirtschaftlicher war. Im Jahr 2007 wurden große Teile der tragenden Konstruktion gegen verstärkte Stahlbauteile ausgetauscht, um dem gestiegenen Verkehrsaufkommen gerecht zu werden. In 38 Jahren Nutzungszeit von 1969 bis 2007 musste der beschichtete Teil der Stahlkonstruktion zwei Mal instandgesetzt werden, während die feuerverzinkten Stahlbauteile auch im Jahr 2007 noch immer hohe Zinkschichtdicken aufwiesen. Einige der feuerverzinkten Stahlbauteile wurden in der verstärkten Konstruktion wiederverwendet.



8 | 1969 wurde die vierspurige beschichtete Brücke mit feuerverzinktem Stahl auf sechs Spuren erweitert.

9 | Die feuerverzinkten Bauteile befinden sich in einem guten Zustand, die beschichteten Bauteile zeigen Korrosion.

10 | Direkter Vergleich: Die Leaside-Brücke ist teilweise beschichtet und teilweise feuerverzinkt.





11 | *Die Feuerverzinkung schützt seit 72 Jahren wartungsfrei vor Korrosion.*

12 | *Im Jahr 2014 wurden an den Stahlprofilen Zinkschichtdicken von mehr als 126 Mikrometern gemessen.*

Rüstiger D-Day-Veteran: Lydlinch-Brücke (BJ 1942)

Im Jahr 1942 errichteten kanadische Truppen in Vorbereitung des D-Days im britischen Lydlinch eine Mobil-Brücke. Im Gegensatz zu einer bereits vorhandenen Bogenbrücke ließ die in feuerverzinktem Stahl ausgeführte Callender-Hamilton-Brücke auch Querungen durch schwere Militärfahrzeuge zu. Eine Inspektion im Oktober 2014 kam zu dem Ergebnis, dass sich die feuerverzinkte Stahlkonstruktion der Brücke noch immer in einem sehr guten Zustand befindet. 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 mehrfach 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 mühelos weitere 50 Jahre korrosionsfrei sein und schon bald 100 Jahre alt werden.

Fazit:

Auch wenn es derzeit nur wenige Beispiele für feuerverzinkte Straßenbrücken gibt, belegen diese, dass eine Feuerverzinkung im Brückenbau Schutzzeiträume von 100 Jahren und mehr erreichen kann.

Fotos | GAV (1-7), Nathan Holt historicbridges.org (8-10), GA (11, 12)

Feuerverzinken verhindert Bewehrungskorrosion

Schutz gegen Carbonatisierung und Chloridbelastung

Bewehrungskorrosion ist an Brückenbauteilen aus Beton ein häufig auftretendes Problem. Die Ursachen hierfür sind vielfältig. Neben Rissen und Fugen im Beton, einer zu geringen Betonüberdeckung oder Kiesnestern führen vor allem Carbonatisierung sowie aggressive Belastungen durch Tausalzangriffe und Salzbelastung in Küstennähe zu Bewehrungskorrosion.

Carbonatisierung

Unter normalen Bedingungen ist der Bewehrungsstahl im Beton durch die Alkalität des Betons vor Korrosion geschützt. Durch Feuchtigkeit und Kohlendioxidinflüsse verliert er jedoch langfristig seine Alkalität und wird depassiviert. Als Folge kommt es zu Bewehrungskorrosion und zu schwerwiegenden Schäden am Bauteil, deren Sanierung nicht immer oder nur mit hohem Aufwand möglich ist. Faktoren wie das Alter des Betons, die Betonfeuchte und die Porosität des Betons beeinflussen die Geschwindigkeit der Carbonatisierung. Bewehrungskorrosion durch Carbonatisierung kann durch Feuerverzinken dauerhaft verhindert werden. Da Brückenbauwerke und -bauteile zumeist für eine Nutzungsdauer von 100 Jahren geplant werden, ist die Verwendung von feuerverzinkter Bewehrung unter Wirtschaftlichkeits- und Nachhaltigkeitsaspekten sinnvoll.



Chloridbelastung

Feuerverzinkter Betonstahl bietet auch da zusätzlichen Schutz, wo eine Chloridbelastung zu erwarten ist. Denn auch unter Einfluss von Chloriden sind verzinkte Bewehrungsstähle deutlich beständiger als unverzinkte. Schwerlösliche basische Zinkchloride werden von der Verzinkung abgebunden und damit unschädlich gemacht. Die Verwendung von feuerverzinktem Betonstahl empfiehlt sich daher für Brückenbauten und -bauteile im Küstenbereich sowie mit unmittelbarem Kontakt zu Meerwasser gemäß Expositionsklasse XS1 und XS3 und bei zu erwartender Streu- und Tausalzbeanspruchung gemäß Expositionsklasse XD 1 und XD3 (Tabelle 1).

Feuerverzinkter Bewehrungsstahl

Feuerverzinkte Betonstähle dürfen wie unverzinkte Betonstähle zur Bewehrung von Stahlbeton unter Berücksichtigung der Regelungen der Allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung (AbZ) Z-1.4-165 „Feuerverzinkte Betonstähle“ eingesetzt werden. Es können nahezu alle in Deutschland zugelassenen Bewehrungsstähle feuerverzinkt und in Verbindung mit allen Normalzementen nach DIN EN 197-1 verwendet werden.



1 | *Bewehrungskorrosion an einer Autobahnbrücke der A661.*
(Foto: Karl-Heinz Wellmann)

2 | *Bewehrungskorrosion an einer Brückenzugangstreppe im Küstenbereich nach 30 Jahren Standzeit*

Weitere Informationen, Ausschreibungstexte sowie die AbZ „Feuerverzinkte Betonstähle“ unter www.feuerzinken.com/betonstahl

| Expositionsklassen XC, XD und XS nach Eurocode 2 (EN 1992) | | |
|--|---|---|
| Expositionsklasse | Umgebungsbedingung | Beispiele für die Zuordnung (informativ) nach nationalem Anhang DIN EN 1992-1-1/NA [2011-01] |
| XC: Bewehrungskorrosion, ausgelöst durch Carbonatisierung | | |
| XC1 | Trocken oder ständig nass | Bauteile in Innenräumen mit üblicher Luftfeuchte (Küche, Bad in Wohngebäuden o.ä.) |
| XC2 | Nass, selten trocken | Teile von Wasserbehältern, Gründungsbauteile |
| XC3 | Mäßige Feuchte | Bauteile mit häufigem o. ständigem Kontakt zur Außenluft (offene Hallen), Innenräume mit hoher Luftfeuchtigkeit, Feuchträume von Hallenbädern und Viehställen |
| XC4 | Wechselnd nass und trocken | Außenbauteile mit direkter Beregnung, Bauteile in Wasserwechselzonen |
| XD: Bewehrungskorrosion, ausgelöst durch Chloride, ausgenommen Meerwasser | | |
| XD1 | Mäßige Feuchte | Bauteile im Sprühnebelbereich von Verkehrsflächen |
| XD2 | Nass, selten trocken | Schwimmbecken, Bauteile, die chloridhaltigen Industrieabwässern ausgesetzt sind |
| XD3 | Wechselnd nass und trocken | Teile von Brücken, Fahrbahndecken, Parkdecks |
| XS: Bewehrungskorrosion, ausgelöst durch Chloride aus Meerwasser | | |
| XS1 | Salzhaltige Luft, kein unmittelbarer Kontakt mit Meerwasser | Außenbauteile in Küstennähe |
| XS2 | Unter Wasser | Bauteile in Hafenbecken, die ständig unter Wasser liegen |
| XS3 | Tidebereiche, Spritzwasser- und Sprühnebelbereiche | Kaimauern in Hafenanlagen |

Hier ist feuerverzinkter Betonstahl sinnvoll.

Tabelle 1 | Expositionsklassen XC, XD und XS nach Eurocode 2 (EN 1992): Durch Feuerverzinken wird Bewehrungsstahl vor Korrosion geschützt.



Wegweisend dauerhaft

Feuerverzinkte Stahl-Verbund-Brücke in Kanada

1

Die in Stahlverbund-Bauweise realisierte Stoneham-Brücke zeichnet sich durch eine wegweisende Verwendung von feuerverzinktem Stahl aus. Sowohl das Stahltragwerk der Brücke als auch der Bewehrungsstahl der Betonbögen und der Fahrbahn wurden feuerverzinkt ausgeführt.

Beim Entwurf der Brückenkonstruktion schied eine Lösung mit einem Mittelpfeiler aus Sicherheitsgründen aus. Die Ingenieure von CIMA+ entschieden sich für eine Brücke aus zwei Parallelbögen, die bis zu 20 Meter über den Highway 73 ragen. Die Beton-Bögen haben an den Auflagern eine Breite von 1500 mm und eine Höhe von 2400 mm und verjüngen sich nach oben jeweils auf die Hälfte. Die Spannweite der Brücke beträgt 68,5 Meter, die Gesamtbreite einschließlich Bögen und Überhängen 18,5 Meter. 34 Stahlseile mit einem Durchmesser von 48 mm sind über integrierte Ankerplatten in den Beton-Bögen mit dem Stahltragwerk der Fahrbahn verbunden. Die Querträger des Stahltragwerkes bilden dabei das Rückgrat der Brücke. In der Regel übernehmen die Längsträger diese Funktion.

Die Stoneham-Brücke wurde für eine Nutzungsdauer von mindestens 75 Jahren geplant, wobei Instandhaltungsmaßnahmen nur auf den

- 1 | *Das Stahl-Tragwerk der Stoneham-Brücke bei Quebec ist feuerverzinkt ausgeführt.*
- 2 | *Feuerverzinkter Bewehrungsstahl macht den Betonbelag der Fahrbahn dauerhafter.*
- 3 | *Ebenfalls feuerverzinkt: Die Bewehrung der Betonbögen der Stoneham-Brücke.*
- 4 | *Aufgrund der langen Winter ist die Brücke starken Tausalzeinflüssen ausgesetzt.*



Ersatz von „Verschleißteilen“ wie dem Fahrbahnbelag reduziert werden sollen. Da schneereiche, lange Winter mit Minusgraden über einen Zeitraum von 5 Monaten das Klima der Region Quebec prägen, ist die Brücke vor allem starken Tausalzeinflüssen ausgesetzt. Aus diesem Grund wurde der Korrosionsschutz durch Feuerverzinken sowohl für das Stahltragwerk der Brücke und für den Bewehrungsstahl der Betonbögen und der Fahrbahn eingesetzt. Hierdurch wird über die gesamte Nutzungsdauer ein wartungsfreier Schutz gewährleistet.

Langzeiterfahrungen

Langzeituntersuchungen beweisen den hochwirksamen Schutz der Feuerverzinkung an chloridbelasteten Betonbauwerken. Messungen an Brücken zeigten, dass der verwendete feuerverzinkte Bewehrungsstahl nach 26 bis 29 Jahren Nutzungsdauer noch immer hohe Zinkschichtdicken aufwies, die zwischen 155 und 236 Mikrometer betrugen (Tabelle unten). Die untersuchten Brücken waren regelmäßig Tausalzen bzw. Salzeinflüssen durch unmittelbare Meeresnähe ausgesetzt.

| Brücke und Ort | Erbaut Jahr | Inspektion Jahr | Chloride lb/y3 | 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 |
| Evaston Interchange, Wyoming | 1975 | 2002 | 2,55 | 236 |

Chlorid- und Schichtdickenmessungen an Beton-Brückenbauwerken mit feuerverzinktem Bewehrungsstahl in den USA. (Quelle: International Zinc Association)

Architekten | Lemay & Associés

Ingenieure | CIMA+

Fotos | American Galvanizers (1,2,3), Stéphane Groleau (4)



Verzinkte Brücken sparen Kosten

Neue Studie der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt)

Eine gerade veröffentlichte Studie der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) kommt zu dem Ergebnis, dass feuerverzinkte Brücken deutlich nachhaltiger und wirtschaftlicher sind als beschichtete Brücken.

Das Forschungsprojekt der BASt hat eine feuerverzinkte mit einer beschichteten Stahl-Verbund-Brücke unter Kosten- und Nachhaltigkeitsgesichtspunkten verglichen. Um möglichst allgemeingültige Aussagen zu erreichen, wurde eine typische Verbundbrücke in Integralbauweise mit einer Spannweite von 45 Metern, so wie sie vielfach für Autobahnüberführungen verwendet wird, betrachtet.

Für die Brücken der Studie wurde eine für derartige Bauwerke übliche Nutzungsdauer von 100 Jahren zu Grunde gelegt. Da der Korrosionsschutz von beschichteten Brücken nicht die vorgegebene Nutzungsdauer von 100 Jahren ohne Instandhaltungsmaßnahmen erreichen kann, wurde für diese Brücke von Kompletterneuerungen der Korrosionsschutzbeschichtung im Jahr 33 und Jahr 66 des Lebenszyklus ausgegangen, was der üblichen Instandhaltungsstrategie für beschichtete Brücken entspricht. Bei der feuerverzinkten Brücke fallen keine Unterhaltungsmaßnahmen des Korrosionsschutzes während des 100-jährigen Lebenszyklus an, da die Feuerverzinkung ohne Wartung eine Schutzdauer von 100 Jahren erreicht.

Die mit dem BASt-Projekt beauftragten Wissenschaftler der Universität Stuttgart und des Karlsruher Institut für Technologie kamen zu dem Ergebnis, dass die feuerverzinkte Brücke in allen Kosten- und Nachhaltigkeitskategorien deutlich bessere Ergebnisse erzielt. Bei den Erstkosten, d.h. den

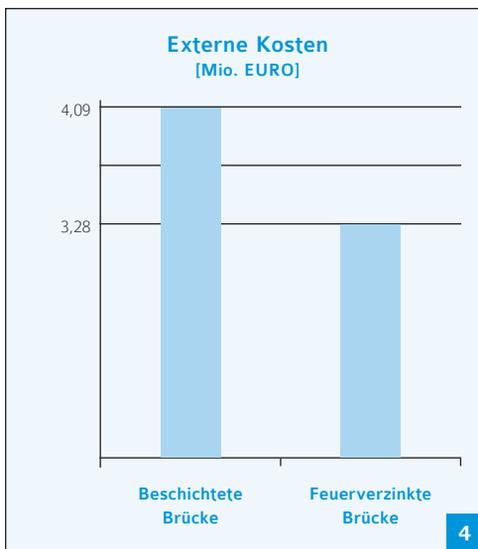


1 | Feuerverzinkte Stahl-Verbund-Brücken sind wirtschaftlicher und nachhaltiger als beschichtete Brücken.

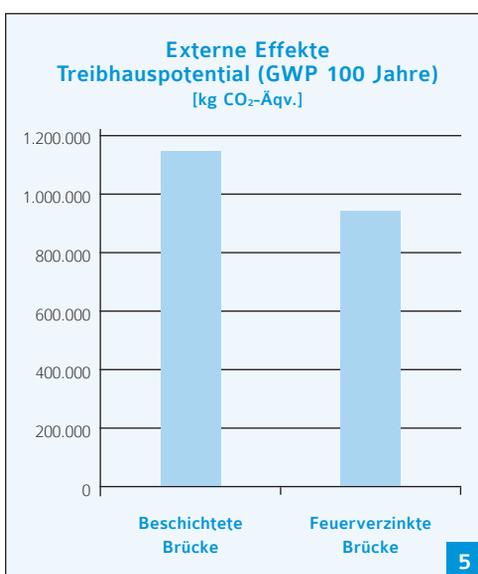
2 | Der Korrosionsschutz an beschichteten Brücken muss regelmäßig instandgesetzt werden.



3



4



5

gesamten Erstellungskosten des Bauwerkes war die feuerverzinkte Brücke ca. 0,5 Prozent günstiger. Im Hinblick auf die gesamten Lebenszykluskosten, die sämtliche Kosten von der Erstellung über die Wartung- und Instandhaltung bis zum Rückbau betrachtet, war die feuerverzinkte Brücke rund 10 Prozent günstiger (Abb. 3). Zusätzlich zu den vorgenannten Kostenkategorien wurden die sogenannten externen Kosten ermittelt, die durch Wartungs- und Instandsetzungsarbeiten entstehen. Durch Wartungs- und Instandsetzungsarbeiten an Brücken kommt es zumeist zu einer Behinderung von Verkehrsteilnehmern, die sich in verlängerten Fahrzeiten sowie erhöhten Kraftstoffverbräuchen, erhöhtem Fahrzeugverschleiß durch Stop & Go-Fahrweise und erhöhter Luftverschmutzung ausdrückt. Dies lässt sich als sogenannte „externe Kosten“ beziffern. Die externen Kosten der feuerverzinkten Brücke liegen rund 20 Prozent niedriger als bei der untersuchten beschichteten Brücke (Abb. 4). Zwar entstehen an der verzinkten Brücke ebenfalls externe Kosten, diese werden jedoch nicht durch Korrosionsschutzarbeiten, sondern durch andere Instandhaltungsmaßnahmen wie Betonbauarbeiten verursacht.

Die ökologischen Analysen zeichnen ein ähnliches Bild wie die Kostenanalysen. Auch hier wurde zwischen den Umweltwirkungen des Brückenbauwerks an sich und den Umweltwirkungen der externen Effekte unterschieden. Die Umweltwirkungen der externen Effekte liegen überwiegend in der Größenordnung der Effekte des Brückenbauwerks und überschreiten diese in vielen Fällen sogar. Beim Treibhauspotential liegen beispielsweise die Einsparungen durch die Feuerverzinkung der Brücke über den gesamten Lebenszyklus des Bauwerks bei rund 5 Prozent. Bezogen auf die externen Effekte ergeben sich beim Treibhauspotential sogar Einsparungen von ca. 20 Prozent (Abb. 5).

Die BAST-Studie kommt zu dem Ergebnis, dass die feuerverzinkte Brücke „den größten Beitrag zu einer nachhaltigen Entwicklung leistet“. Zwar sind die Ergebnisse des Forschungsprojektes der BAST nicht pauschal auf alle Brückenbauwerke übertragbar, doch zeigen insbesondere die im zweistelligen Bereich liegenden Unterschiede bei den Lebenszykluskosten, den externen Kosten und den Umweltwirkungen der externen Effekte, dass eine Umkehrung der Ergebnisse zu Gunsten der Beschichtung weder plausibel noch wahrscheinlich ist.

Fazit

Durch den Einsatz der Feuerverzinkung können Brückenbauwerke zukünftig nachhaltiger und wirtschaftlicher als bisher ausgeführt werden. Vor dem Hintergrund eines Ersatzbedarfes von mehr als 10.000 Straßenbrücken in Deutschland in den nächsten Jahren, ist das Feuerverzinken von Stahl- und Verbundbrücken der richtige Weg, um Instandhaltungen und Instandhaltungskosten und dadurch verursachte Verkehrsbehinderungen drastisch zu minimieren.

3 | Die summierten Lebenszykluskosten der feuerverzinkten Brücke sind rund 10 Prozent günstiger als die summierten Lebenszykluskosten der beschichteten Brücke.

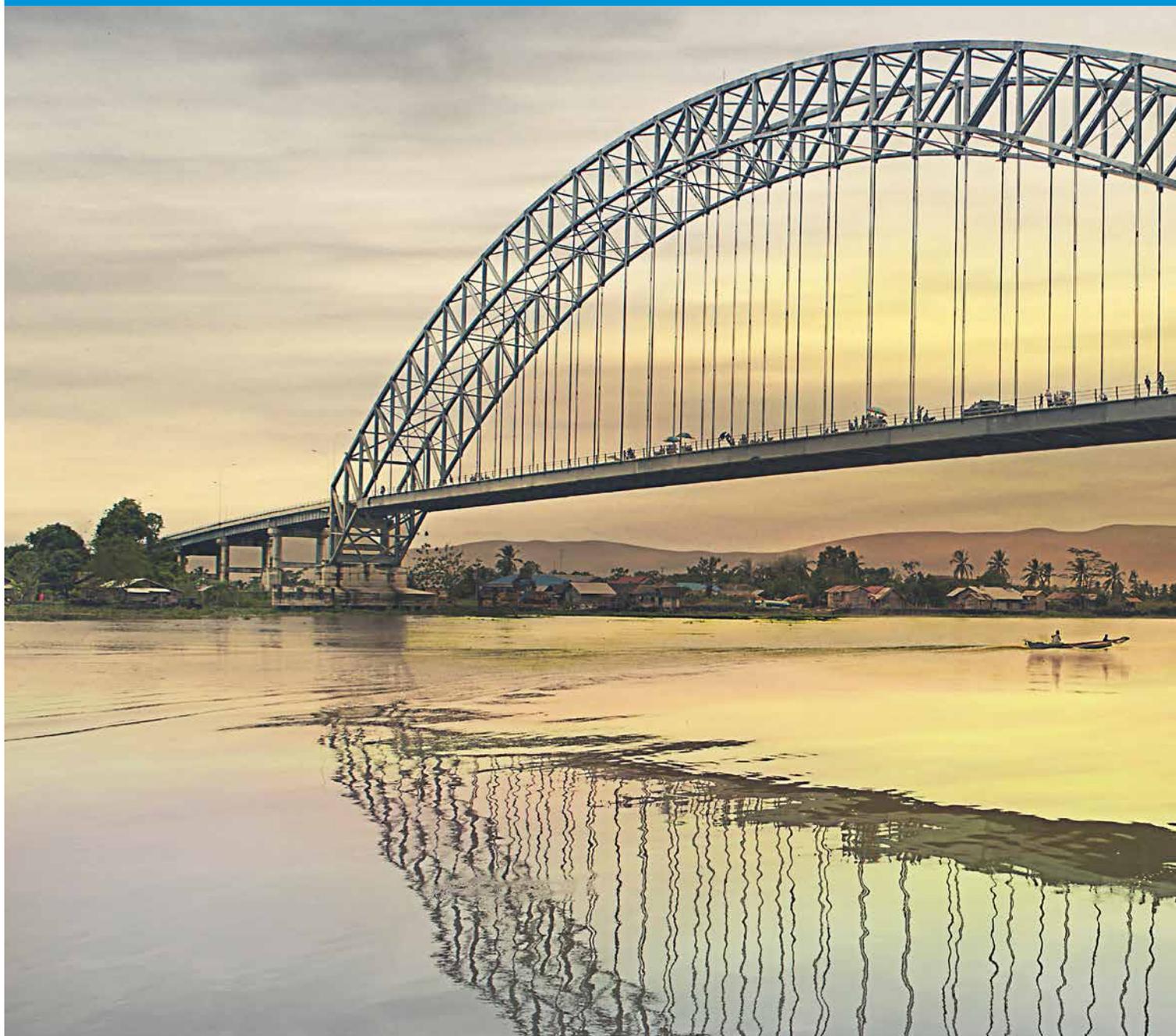
4 | Die externen Kosten der feuerverzinkten Brücke liegen rund 20 Prozent niedriger als bei der untersuchten beschichteten Brücke.

5 | Bezogen auf die externen Effekte ergeben sich beim Treibhauspotential durch Feuerverzinken Einsparungen von ca. 20 Prozent.



Bogenbrücke in Borneo

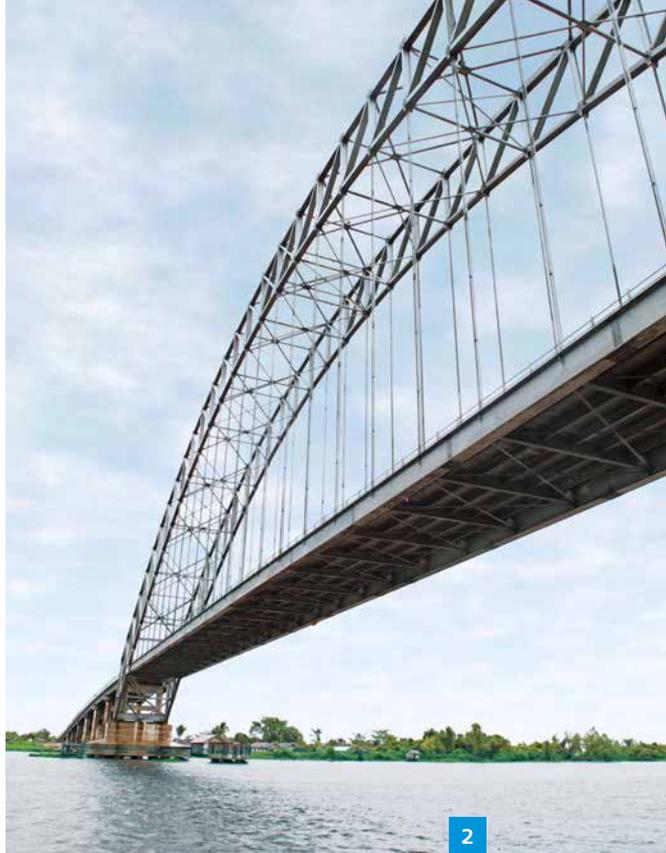
Fachwerk und Fahrbahngitter wurden feuerverzinkt



Leicht und filigran wirkt der mächtige Bogen der Jembatan-Rumpiang-Brücke, die den Barito-Fluss an der Süd-Ost-Spitze Borneos überspannt. Die gigantische Brücke erleichtert den Zugang zur Stadt Marabahan, die vorher nur mit einer Fähre erreicht werden konnte.

Erbaut wurde die Brücke von dem Stahlbauunternehmen Waagner-Biro mit Hauptsitz in Wien. 750 Meter beträgt die Gesamtlänge der Barito-Fluss-Querung. Der als Fachwerk-Konstruktion ausgeführte Brückenbogen hat eine Spannweite von 200 Metern. Sämtliche Stahlteile der Brücke, insgesamt 1100 Tonnen, wurden gemäß DIN EN ISO 1461 feuerverzinkt ausgeführt und zur Vermeidung von Schwachstellen im Korrosionsschutz durch Schraubverbindungen gefügt. Hierzu gehört die transparente und lesbare Bogen-Konstruktion ebenso wie das Gittertragwerk der Fahrbahn.

Durch die Verwendung der Feuerverzinkung erhielt die Brücke einen dauerhaften Korrosionsschutz, der dem tropischen Klima Borneos gerecht wird. Die Insel im Malaiischen Archipel hat ganzjährig hohe Durchschnittstemperaturen um 27°C mit einer Luftfeuchtigkeit von über 80 Prozent und jährlichen Niederschlagsmengen, die 4000 Millimeter erreichen können.



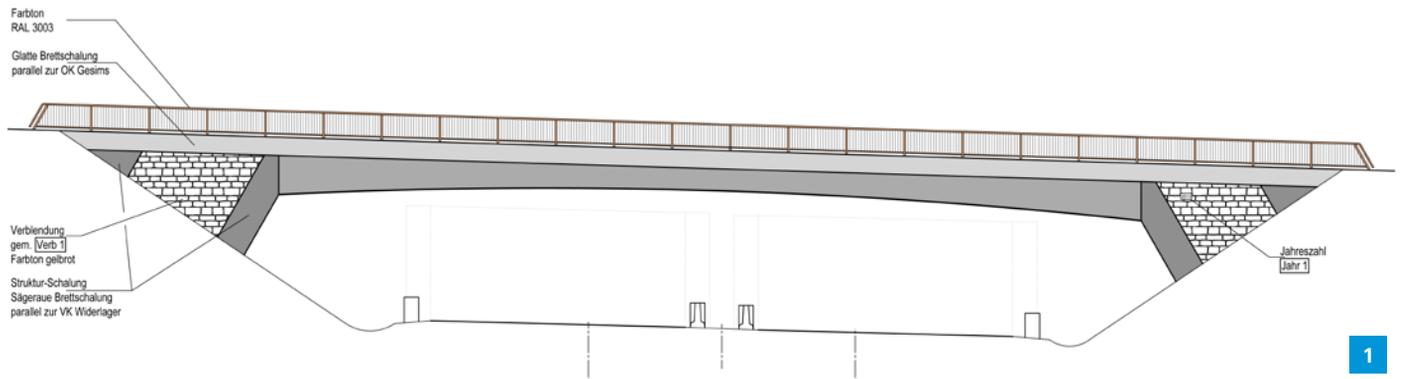
2



1

1 | *Die feuerverzinkte Bogenbrücke hat eine Spannweite von 200 Metern.*

2 | *Auch das Gitter-Tragwerk der Fahrbahn wurde feuerverzinkt ausgeführt.*



1

Arbeitshilfe zur Planung verzinkter Brücken

Die wichtigsten Inhalte im Überblick

Während das Feuerverzinken von Stahlbauteilen im Hochbau eine bewährte Bauweise ist, stellt das Feuerverzinken im Straßenbrückenbau derzeit noch eine Innovation dar. Eine Arbeitshilfe des Institutes Feuerverzinken bietet eine praxisperechte Umsetzung aktueller wissenschaftlicher Erkenntnisse zur Anwendung der Feuerverzinkung im Straßenbrückenbau. Sie unterstützt Bauherren, Architekten und Ingenieure bei der Realisierung des Korrosionsschutzes durch Feuerverzinken im Brückenbau.

- 1 | *Ansicht einer feuerverzinkten Brücke über der A44. (Zeichnung: DEGES)*
- 2 | *Montagestöße an feuerverzinkten Bauteilen sind gemäß Arbeitshilfe auszuführen.*
- 3 | *Kerbfäll-Katalog der Arbeitshilfe (Auszug).*

Korrosionsschutznachweis

Das Forschungsprojekt „FOSTA P835 – Feuerverzinken im Stahl- und Verbundbrückenbau“ erbrachte unter anderem den Nachweis, dass durch Feuerverzinken von Brückenbauwerken eine wartungsfreie Korrosionsschutzdauer von 100 Jahren erreicht wird. Bei korrosiven Belastungen gemäß Korrosivitätskategorie C4 mit erhöhtem Tausalzeinfluss ist hierfür eine Zinkschichtdicke von mehr als 250 µm notwendig. An Brücken mit durchschnittlicher oder geringer Tausalbelastung wird bereits bei einer Überzugsdicke von mehr als 200 µm eine Schutzdauer von 100 Jahren erreicht.

Für die Erreichung dieser Schutzwirkung sind konstruktive und fertigungstechnische Anforderungen zu berücksichtigen, die im Folgenden beschrieben werden.

Stahlauswahl und Konstruktionshinweise

Die Stahlsortenauswahl richtet sich nach den statischen Erfordernissen der Brücke. In Bezug auf das Feuerverzinken ist die chemische Zusammensetzung des Stahls zu spezifizieren. Es sind Stähle gemäß DIN EN 10025-2, Pkt. 7.4.3 „Feuerverzinken“ mit folgendem Silizium- und Phosphorgehalt zu verwenden: $0,14 \leq \text{Si} \leq 0,35$ und $\text{P} \leq 0,035$ Gewichtsprozent.

Neben der korrosionsschutzgerechten Gestaltung nach DIN EN ISO 12944-3 und DIN EN ISO 14713-1 müssen zusätzliche Anforderungen entsprechend der feuerverzinkungsgerechten Konstruktion nach DIN EN ISO 14713-2, Anhang A und DAST-Richtlinie 022 sowie eine feuerverzinkungsgerechte Fertigung berücksichtigt werden. Die wesentlichen Grundlagen hierzu enthalten die Arbeitsblätter Feuerverzinken (www.fv.lc).

Brücken-Hauptträger mit Bauteillängen über 16–18 Meter sind zu segmentieren und durch zu schweißende Montagestöße zu fügen. Die Lage der Schweißstöße ist unter Berücksichtigung eventueller Instandsetzungsarbeiten zu wählen. Für Schweißstöße ist nur eine Ausbesserung durch Thermisches Spritzen gemäß der Vorgaben der Arbeitshilfe zulässig.

Nachweis gegen Werkstoffermüdung

Der Nachweis gegen Werkstoffermüdung ist gemäß DIN EN 1993-2, DIN EN 1993-1-9 und DIN EN 1994-2 unter Berücksichtigung der in der Arbeitshilfe angegebenen Kerbfälle für feuerverzinkte Konstruktionsdetails zu führen (Abb. 3). In diesen sind die Ermüdungsfestigkeit von feuerverzinktem Stahl und die feuerverzinkungsbedingten Abminderungen bereits berücksichtigt.

Ausführung und Prüfung der Feuerverzinkung

Der Korrosionsschutz durch Feuerverzinken (Stückverzinken) ist gemäß DIN EN ISO 1461 und DASt-Richtlinie 022 und in für das Brückenbauwerk vorgegebenen Mindestzinkschichtdicken auszuführen.

Die Prüfung der Zinkschichtdicke ist gemäß DIN EN ISO 1461 auszuführen. Gemäß ZTV-ING sind Kontrollflächen an vorgegebenen Punkten gemäß Arbeitshilfe vorzusehen. Neben der optischen Prüfung ist für Brückenbauteile eine systematische Überprüfung mit dem Magnetpulver-Verfahren gemäß Anlage 3 der DASt-Richtlinie 022 verbindlich durchzuführen.

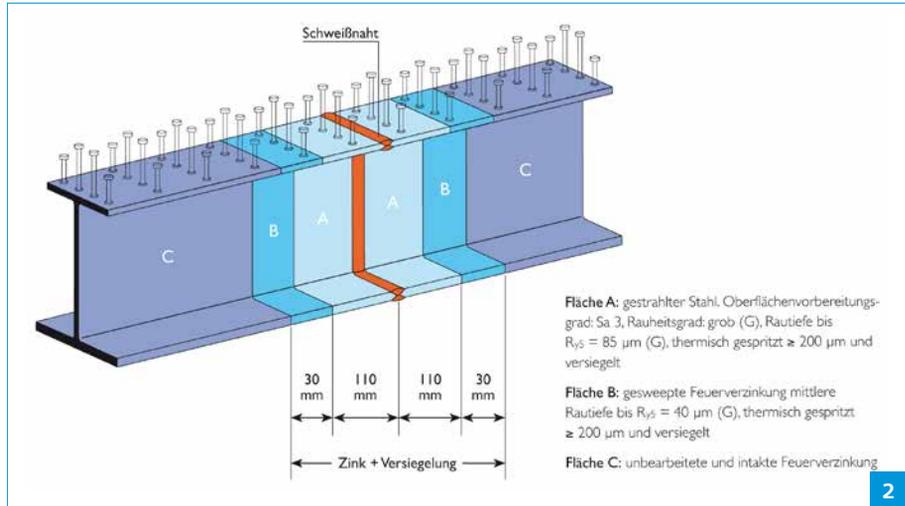
Ausführung von Montage-Schweißstößen

In Anlehnung und Ergänzung zu Pkt. 5.5 ZTV-ING: Baustellenschweißstöße sind Montageschweißstöße durch Spritzverzinken vor Korrosion zu schützen. Hierzu ist die in der Arbeitshilfe beschriebene Vorgehensweise verbindlich einzuhalten (Abb. 2).

Ausbesserung von Beschädigungen der Zinkschicht

Die Ausbesserung von Beschädigungen der Zinkschicht muss nach den Vorgaben der Arbeitshilfe durch Spritzverzinken erfolgen.

Feuerverzinkte Stahl- und Verbundbrücken müssen derzeit noch über eine Zustimmung im Einzelfall (ZiE) zugelassen werden, da der Korrosionsschutz durch Feuerverzinken noch nicht in den für den Straßenbau geltenden technischen Regelwerken eingeführt ist. Eine ZiE wird von der obersten Bauaufsichtsbehörde des jeweiligen Bundeslandes erteilt. Der Antragsteller (z. B. Bauherr, Planer, Bauausführender [Errichter], Sachverständiger) muss den Nachweis über die Verwendbarkeit des



Feuerverzinkens bezogen auf ein konkretes Brückenbau-Projekt erbringen. Dieser erfolgt in der Regel über eine gutachterliche Stellungnahme.

Das Institut Feuerverzinken unterstützt Bauherren, Planer, Bauausführende und Sachverständige bezüglich der ZiE mit weiteren Informationen und Kontaktdaten. Für eine individuelle Beratung stehen die Korrosionsschutzingenieure des Institutes Feuerverzinken zur Verfügung: Per Info-Hotline (0211) 6907650 oder per E-Mail: bruecken@feuerverzinken.com

| Kerbfall | Konstruktionsdetail | Beschreibung | Anforderungen |
|----------|---------------------|--|---|
| 140 | | Bleche und Flachstäbe mit gewalzen/gefrästen Kanten. | Scharfe Kanten, Oberflächen- und Walzfehler sind durch Schleifen zu beseitigen und ein nahtloser Übergang herzustellen. |
| 112 | | Maschinell brenn- oder wasserstrahlgeschchnittener Werkstoff mit sauberen und regelmäßigen Brennlinien. Maschinell brenn- oder wasserstrahlgeschchnittener Werkstoff der Schnittqualität entsprechend EN 1090. | Einprägende Ecken sind durch Schleifen (Neigung $\approx 45^\circ$) zu bearbeiten oder durch einen entsprechenden Spannungskonzentrationsfaktor zu berücksichtigen. Keine Ausbesserungen durch Verfüllen mit Schweißgut. |
| 100 | | Handgeschweißte Kehlnähte | Zwischen Flansch und Stegblech ist eine sehr gute Passgenauigkeit erforderlich. |
| 80 | | Über eine durchgeschweißte Quernäht geführte durchgehende Längsnäht als Halsnäht. | |
| 100 | | Querstöße in Blechen und Flachstäben. | <ul style="list-style-type: none"> Alle Nähte blechen in Längsrichtung geschliffen. Schweißnähten- und -auslaufkanten sind zu verwenden und anschließend zu entformen, Blechränder sind blechen in Längsrichtung zu schleifen. Beidseitige Schweißung mit zerstörungsfreier Prüfung (ZFP). |
| 80 | | Vollstöße von Walzprofilen mit Stumpfnähten ohne Freischnitte. | <ul style="list-style-type: none"> Die Nahtüberhöhung muss $\leq 10\%$ der Nahtbreite und mit verlaufendem Übergang in die Blechoberfläche ausgeführt werden. Schweißnähten- und -auslaufkanten sind zu verwenden und anschließend zu entformen, Blechränder sind blechen. |

Arbeitshilfe kostenlos bestellen

Die Arbeitshilfe zur Planung und Ausführung von feuerverzinkten Stahlkonstruktionen im Straßenbrückenbau ist Teil der Broschüre „Feuerverzinkte Stahl- und Verbundbrücken“ und kostenlos bestellbar unter www.feuerzinken.com/bruecken

Wirtschaftlich und nachhaltig.

Korrosion impossible

Straßenbrücken
sind jetzt feuerverzinkbar

Stahl- und Verbundbrücken dürfen seit kurzem
auch in Deutschland feuerverzinkt werden.

Wissenschaftliche Untersuchungen ergaben nämlich,
dass die Feuerverzinkung auch für den Einsatz an zyklisch belasteten
Brückenbauteilen geeignet ist und eine Korrosionsschutzdauer von
100 Jahren ohne Wartung erreicht.

Zudem ist Feuerverzinken bereits bei den Erstkosten günstiger.

 Mehr unter
www.feuverzinken.com/bruecken

 INSTITUT
FEUERVERZINKEN