

Korrosionsschutz durch Feuerverzinken



INSTITUT FEUERVERZINKEN GMBH

Das Institut Feuerverzinken GmbH ist die Serviceorganisation des Industrieverbandes Feuerverzinken e.V. Zu seinen Aufgaben gehört die firmenneutrale, problemlösungsbezogene Beratung von Anwendern.

Eine breite Palette an Informationen steht interessierten Anwendern zur Verfügung. Eine Übersicht des Informationsangebotes gibt das Korrosionsschutz-Portal www.feuverzinken.com. Individuelle, projektbezogene Beratung kann über die Infohotline (0211 690765-0) sowie vor Ort über die Beratungsingenieure der drei Regionalbüros erfolgen.

Arbeitsblätter Feuerverzinken

Die Arbeitsblätter Feuerverzinken unterstützen Architekten, Ingenieure, Stahl- und Metallbauer sowie Hersteller bei planerischen und konstruktiven Fragen rund um den Korrosionsschutz durch Feuerverzinken sowie bei Aspekten der Fertigung und Weiterverarbeitung. Die Arbeitsblätter sind online unter www.fv.lc verfügbar sowie als Smartphone- und Tablet-PC-App für Apple und Android-Geräte.

Zeitschrift Feuerverzinken

Architekten, Ingenieure, Stahl- und Metallbauer sowie Hersteller erhalten auf Wunsch ein kostenloses Abonnement für die **Zeitschrift Feuerverzinken**, die als Printausgabe, iPad-App sowie als Online-Version zur Verfügung steht: www.fv.lc/zeitschrift

Impressum

„Korrosionsschutz durch Feuerverzinken“

Herausgeber:

Institut Feuerverzinken GmbH
Postfach 14 04 51
40074 Düsseldorf

Ein Nachdruck dieser Veröffentlichung ist – auch auszugsweise – nur mit schriftlicher Genehmigung des Herausgebers und mit Quellenangabe gestattet. Die zugrunde liegenden Informationen wurden mit größter Sorgfalt recherchiert und redaktionell bearbeitet. Eine Haftung ist jedoch ausgeschlossen.

Umschlagbilder:

Titel: Aufstockung eines Wohnhauses in Stuttgart (Architekten: Hartwig Schneider Architekten, Stuttgart)

Rückseite: Nordsternschule, Frederikshavn (Architekten: Arkinord A/S und Arkitema Architects; Lochbleche/Foto: RMIG)



Inhalt

1	Stahl und Zink – die glorreichen Zwei	4
2	Korrosionsschutz mit Zink	6
3	Anwendungsbereiche der Feuerverzinkung	10
4	Dauerhaftigkeit von Korrosionsschutzsystemen	14
5	Wirtschaftlichkeit von Korrosionsschutzsystemen	16
6	Nachhaltigkeit von Korrosionsschutzsystemen ..	18
7	Feuerverzinken	20
8	Eigenschaften der Stückverzinkung	22
9	Zinküberzüge	24
10	Korrosionsverhalten von Zinküberzügen	26
11	Ausschreibung und feuerverzinkungs- gerechtes Konstruieren und Fertigen	30
12	Die wichtigsten Regelwerke	38

I Stahl und Zink – die glorreichen Zwei

I.1 Stahl

Stahl ist der bedeutendste metallische Werkstoff. Seine herausragenden technischen Eigenschaften eröffnen ihm nahezu unbegrenzte Be- und Verarbeitungsmöglichkeiten und eine Vielzahl von Anwendungsfeldern. Wie jeder Werkstoff unterliegt Stahl korrosiven Beanspruchungen. Er muss geschützt werden. Durch die konsequente Anwendung entsprechender Schutzmaßnahmen können Korrosionsschäden an Stahlkonstruktionen zuverlässig verhindert werden.

I.2 Zink

Zink ist ein in der Natur vorkommendes Element und wird technisch vielfältig verwendet. Es ist Bestandteil von Legierungen wie Messing, in Blechform wird es beispielsweise als Dachrinne eingesetzt und als Zinkdruckguss wird es für Maschinenteile und Gehäuse verwendet. Zink wird zudem für Korrosionsschutzzwecke genutzt. Darüber hinaus ist Zink ein lebenswichtiges Spurenelement für Menschen, Tiere und Pflanzen. Es aktiviert beispielsweise das Körperwachstum und ist unerlässlich für die körperliche und neurologische Entwicklung von Kindern.





 Neue Gaislachkoglbahn, Sölden (Seilbahntechnik/Foto: Doppelmayr)

2 Korrosionsschutz mit Zink

Zink besitzt hervorragende Korrosionsschutzeigenschaften. Zinkanoden schützen auf elektrochemischem Wege vor Korrosion. Als Pigment in Beschichtungsstoffen trägt es zur Verbesserung des Korrosionsschutzes durch Beschichten bei. Beim Verzinken werden metallische Überzüge mit Zink hergestellt.

2.1 Verzinken ist nicht Verzinken

Das Aufbringen eines metallischen Überzugs aus Zink auf Stahl wird üblicherweise als Verzinken bezeichnet. Das Verzinken von Stahl erfolgt durch unterschiedliche Verfahren mit unterschiedlichen Eigenschaften – Verzinken ist also nicht gleich Verzinken. Die Verzinkungsverfahren unterscheiden sich durch die Schichtdicke und die Herstellung des Zinküberzugs und den hierdurch bedingten Einfluss auf die Schutzdauer und mechanische Belastbarkeit. Die bedeutendsten Verfahren sind das kontinuierliche

und das diskontinuierliche Feuerverzinken, das galvanische Verzinken sowie das Thermische Spritzen mit Zink. Nicht zu den Verzinkungsverfahren zählen zinkhaltige Beschichtungssysteme wie Zinkstaub- und Zinklamellenbeschichtungen, auch wenn sie umgangssprachlich oft fälschlicherweise mit dem Begriff „Verzinken“ in Verbindung gebracht werden.

Das Eintauchen von Stahl in eine flüssige Zinkschmelze wird als Feuerverzinken bezeichnet. Unter dem Begriff Feuerverzinken werden das Stückverzinken nach DIN EN ISO 1461 (diskontinuierliches Feuerverzinken) und das Bandverzinken verstanden, das auch als kontinuierliches Feuerverzinken oder Sendzimir-Verzinken bekannt ist. Beim galvanischen Verzinken wird mit Hilfe von elektrischem Strom Zink auf Stahlteile abgedepontiert. Beim Thermischen Spritzen mit Zink, auch Spritzverzinken genannt, wird Zink in einer Spritzpistole aufgeschmolzen und auf die Oberfläche des Stahlteils auf-

spritzt. Das Spritzverzinken kommt nicht selten als Korrosionsschutz für Stahlteile zum Einsatz, die bauartbedingt nicht stückverzinkt werden können.

Lesetipp:

Special
„Verzinken ist nicht Verzinken“
Kurzlink:
www.feuerverzinken.com/special-verzinken

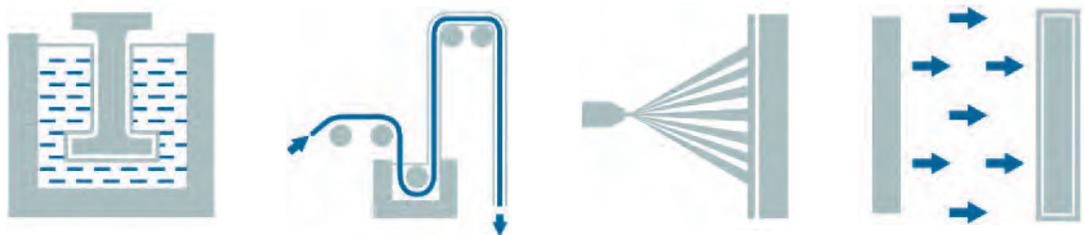


Abb. 1: Verzinkungsverfahren (von links): Stückverzinken, Bandverzinken, Spritzverzinken und galvanisches Verzinken. Zinkstaub- und Zinklamellenbeschichtungen sind keine Verzinkungsverfahren.

Metallische Überzüge	Übliche Dicke des Überzugs [μm]	Legierung mit dem Untergrund	Typische Anwendungen
Feuerverzinken (diskontinuierlich) – Stückverzinken DIN EN ISO 1461	50–150	ja	Konstruktionen im Bereich Stahl- und Metallbau bis zu Kleinteilen, z.B. Träger, Balkonkonstruktionen, Schrauben
Feuerverzinken (kontinuierlich) – Bandverzinken DIN EN 10143 bzw. DIN EN 10346 – Drahtverzinken DIN EN 10244-1 bzw. DIN EN 10244-2	7–25	ja	Bleche für Innenbereiche, z.B. Klimakanäle
	5–30	ja	Produkte aus Draht, z.B. Drahtseile
Thermisches Spritzen mit Zink – Spritzverzinken DIN EN 2063	80–150	nein	Konstruktionen im Bereich Stahlbau
Galvanisches bzw. elektrolytisches Verzinken – Einzelbäder DIN 50979 – Durchlaufverfahren DIN EN 10152, DIN EN 10244-2	2,5–25	nein	Kleinteile für Innenbereiche, z.B. Schrauben

 **Tabelle 1:**
 Übersicht Verzinkungsverfahren
 (1 μm = 1/1.000 mm)



 Stückverzinktes Forschungsgewächshaus Campus Riedberg, Frankfurt (Architekten: Königs Architekten, Köln)

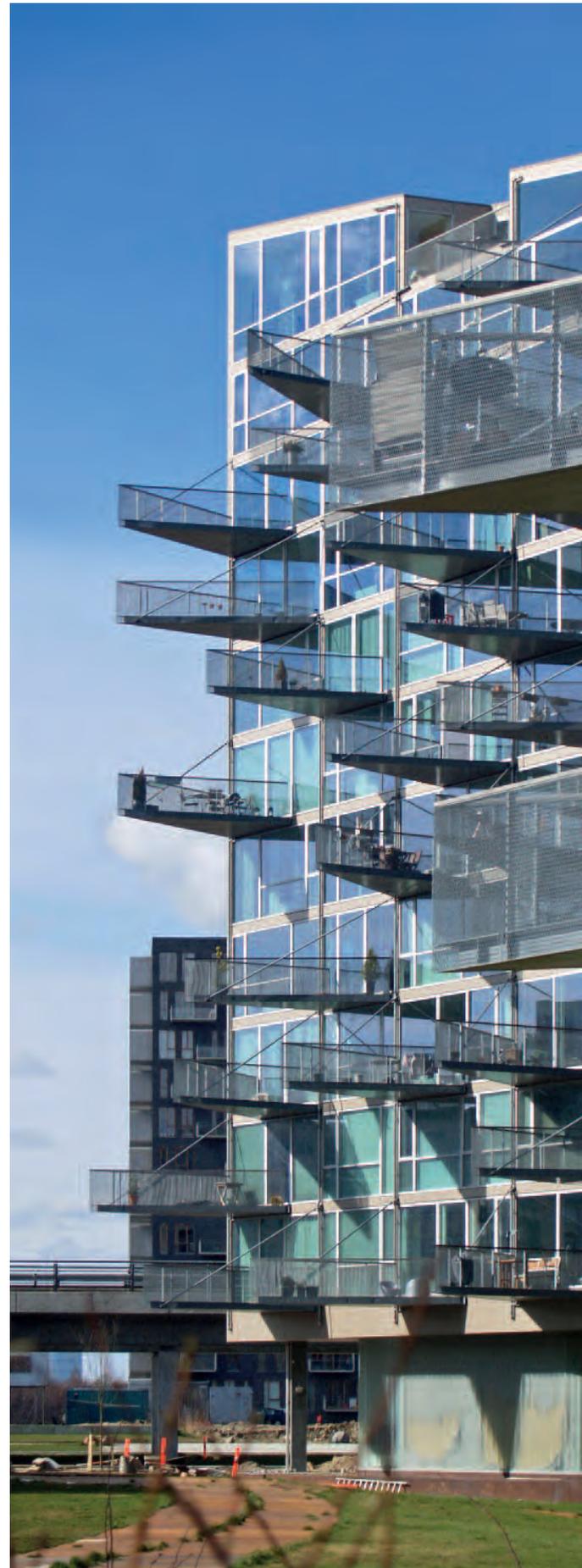
2.2 Bandverzinken

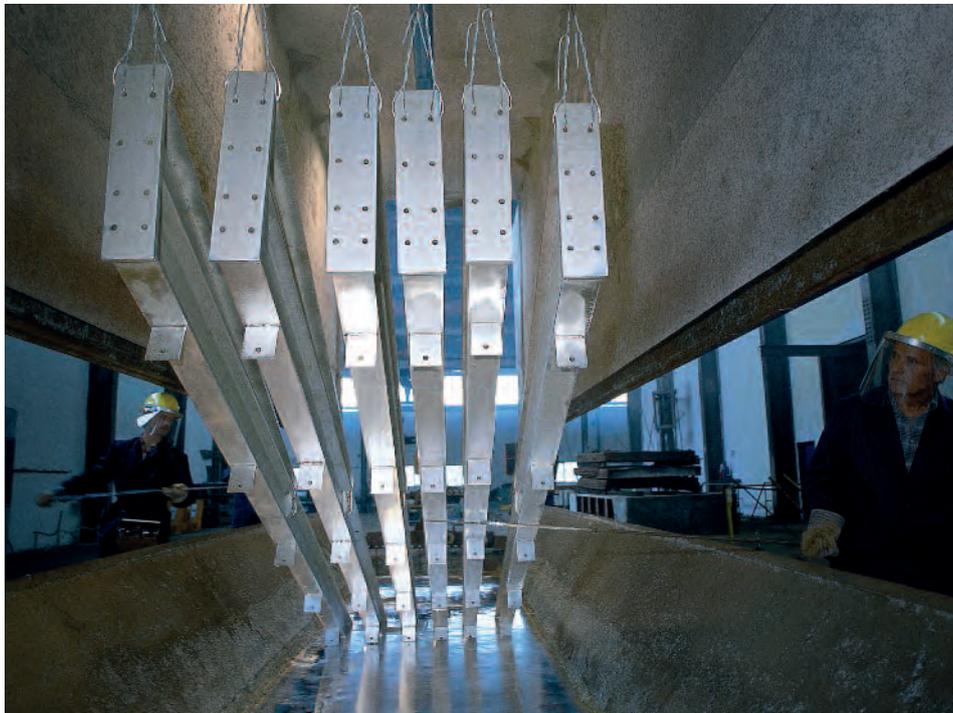
Das Bandverzinken ist ein kontinuierliches Verfahren, bei dem Stahlband in die Zinkschmelze getaucht und anschließend weiterverarbeitet wird. Bandverzinkter Stahl ist somit ein Vorprodukt (Halbzeug). Nach dem Verzinken wird es durch Umformen, Stanzen und Zuschneiden weiterverarbeitet. Hierdurch wird an den Schnitt- und Stanzkanten die schützende Zinkschicht zerstört. Bandverzinkte Stähle werden zumeist in schwach korrosionsbelasteten Innenbereichen eingesetzt. Kabelkanäle oder Klimatechnik-Elemente sind typische Beispiele hierfür.

➔ Stückverzinkte
Balkone der VM
Houses, Kopenhagen
(Architekten: Bjarke
Ingels Group,
Kopenhagen)



➔ Bandverzinkte Entlüftungsröhre





➔ Zinkbad einer
Stückverzinkungsanlage

2.3 Stückverzinken

Im Gegensatz zum Bandverzinken werden beim Stückverzinken Stahlbauteile wie zum Beispiel Treppenkonstruktionen zuerst gefertigt und erst danach feuerverzinkt. Nach entsprechender Vorbehandlung werden die gefertigten Bauteile in eine flüssige Zinkschmelze am Stück eingetaucht. Hierdurch sind die Bauteile rundum vor Korrosion geschützt. Auch die Schnittkanten der Bauteile werden verzinkt. Hohlprofile werden durch das Tauchverfahren außen wie innen gleichermaßen geschützt. Stückverzinkte Bauteile zeichnen sich zudem durch höhere Zinkschichtdicken aus. Während die Zinkschichtdicke von bandverzinkten

Blechen zumeist zwischen 7 und 25 Mikrometern liegt, erreichen gemäß DIN EN ISO 1461 stückverzinkte Stahlteile deutlich höhere Schichtdicken, die üblicherweise zwischen 50 und 150 Mikrometern betragen und bei massiven Stahlbauteilen auch weit über 200 Mikrometern liegen können. Das Haupteinsatzgebiet von stückverzinktem Stahl sind Anwendungen im Außenbereich, da hier in der Regel Schutzzeiträume von Jahrzehnten erreicht werden müssen. Das Stückverzinken hat sich hier als extrem langlebiger, robuster und wartungsfreier Korrosionsschutz bewährt.

3 Anwendungsbereiche der Feuerverzinkung

➔ Feuerverzinktes Gewächshaus
(Architektur: BLB NRW, Düsseldorf)



Im Bereich des Stahl- und Metallbaus wird der Korrosionsschutz durch Feuerverzinken seit Jahrzehnten erfolgreich eingesetzt. Dies gilt im Baubereich für kleine Bauteile wie Balkongeländer, aber auch für große Konstruktionen wie Parkhäuser. Noch junge Anwendungsfelder für das Feuerverzinken sind der Fassadenbau und der Betonstahl. Im Maschinen- und Fahrzeugbau hat sich die robuste Stückverzinkung ebenso durchgesetzt wie in der Landwirtschaft und in der Verkehrstechnik.



➔ Brommy-Balkon, Berlin (Architekten: Herwarth + Holz, Berlin)





➔ AWD-Arena,
Hannover
(Architekten:
Schulitz Architects,
Braunschweig)



➔ Stückverzinktes
„Schlüsselkreuz“, Friesoythe
(Gestaltung: Alfred Bullermann,
Friesoythe)

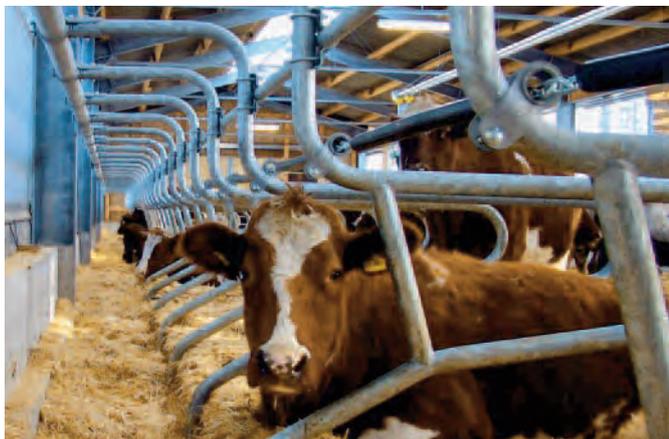
➔ Fassade der Werner-von-
Siemens-Schule, Bochum
(Architekten: Reiser + Partner
Architekten BDA, Bochum)



➔ Tor Mariengymnasium,
Essen (Gestaltung: Michael
Stratmann, Essen)



➔ Milchviehstall
des Instituts für öko-
logischen Landbau,
Wulmenau
(Architekten: Dannien,
Voßgrag + Pantzen,
Lübeck)



➔ Stoneham-Brücke, Quebec (Architekten: Lemay & Associés; Ingenieure CIMA+/Foto: American Galvanizers)



→ ERCO Hochregallager, Lüdenschaid (Architekten: Schneider + Schumacher, Frankfurt am Main)



→ Feuerverzinkter Lkw-Trailer (Hersteller: Fliegl Trailer)



→ Feuerverzinkte Bewehrung einer Brückenkappe an der A99



→ Feuerverzinkte Schutzplanken (Foto: H. E. Balling/PIXELIO)



→ Google Rechenzentrum, St Ghislain (Foto: Google)

4 Dauerhaftigkeit von Korrosionsschutzsystemen

Die Dauerhaftigkeit von Korrosionsschutzsystemen hat einen elementaren Einfluss auf die Nutzungsdauer von Stahlkonstruktionen und beeinflusst in hohem Maße deren Wirtschaftlichkeit und Nachhaltigkeit. Für den Korrosionsschutz von Stahl kommen in der Regel das Feuerverzinken, Beschichtungen und sogenannte Duplex-Systeme zum Einsatz, die eine Feuerverzinkung mit einer anschließenden Beschichtung kombinieren. Während reine Beschichtungen je nach System nach 5 bis 25 Jahren erneuert werden müssen, beträgt die Schutzdauer einer Feuerverzinkung unter den in Deutschland vorherrschenden atmosphärischen Bedingungen zumeist weit über 50 Jahre, ohne dass es einer Wartung oder Instandhaltung bedarf. Dies belegen beispielsweise Normen wie DIN EN ISO 14713-1, die vom Umweltbundesamt herausgegebene Zinkkorrosionskarte (S. 27, Abb. 9), die Tabelle

„Nutzungsdauern von Bauteilen zur Lebenszyklusanalyse des Bewertungssystems Nachhaltiges Bauen für Bundesgebäude (BNB)“ des Bundesbauministeriums (Tabelle 2) sowie unzählbare Praxisbeispiele.

Casehistories – Dauerhaftigkeit in der Praxis

Vogelvoliere Hellabrunn, München (Baujahr 1980)

1980 entstand auf einer Fläche von 5.000 m² die Vogelvoliere des Tierparks Hellabrunn. Die von Pritzkerpreisträger Frei Otto mit Jörg Gribl und Ted Happold geplante Voliere wurde im Juli 2015 durch das Institut Feuerverzinken inspiziert. Nach 35 Jahren zeigten sich die feuerverzinkten Pylone der Voliere in einem sehr guten Zustand und wiesen noch immer Zinkschichtdicken von mehr als 220 Mikrometern auf. Damit ist ein Schutz für viele weitere Jahrzehnte gewährleistet.



➔ **Tabelle 2:**
Nutzungsdauer von Bauteilen zur Lebenszyklusanalyse des Bewertungssystems Nachhaltiges Bauen

Bauteil	Material	Nutzungsdauer
Balkon als freistehende Konstruktion	Stahl feuerverzinkt (stückverzinkt)	≥ 50 Jahre
Balkonbrüstung	Stahlgitterkonstruktion feuerverzinkt (stückverzinkt)	≥ 50 Jahre
Dachausstiege und Luken	Stahl feuerverzinkt (stückverzinkt)	≥ 40 Jahre
Dächer: Geländer, Gitter, Roste, Leitern	Stahl feuerverzinkt (stückverzinkt)	≥ 50 Jahre
Dächer: Absturzsicherungen, Trittstufen, Laufflächen, Blitzschutzanlagen, Laub- und Schneefangvorrichtungen	Stahl feuerverzinkt (stückverzinkt)	≥ 50 Jahre

Lesetipp:

Special „Dauerhaftigkeit“ mit weiteren Casehistories.
Kurzlink:
www.feuerzinken.com/dauerhaftigkeit



Solarhaus Schille, Spessart (Baujahr 1986)

1986 baute der Architekt Hans-Jürgen Steuber ein Solarhaus als „Haus-im-Haus-Lösung“, das heißt ein Massivhaus mit einer Hülle in Form einer feuerverzinkten Stahlglas-Konstruktion. Der Bauherr ist auch nach 30 Jahren mit der Architektur und der energiesparenden Bauweise des Hauses sehr zufrieden. Bei einer Inspektion im April 2014 zeigte sich die feuerverzinkte Gewächshauskonstruktion in einem sehr guten Zustand. Die ermittelten Zinkschichtdicken zwischen 60 und 120 Mikrometern lassen eine weitere Korrosionsschutzdauer von 50 Jahren und mehr als realistisch erscheinen.

➔ Baujahr 1980:
Vogelvoliere Hellabrunn, München
(Architekten: Otto, Gribl, Happold /
Foto: Frei Otto)

Lydlinch-Brücke, Dorset (Baujahr 1942)

Im Jahr 1942 errichteten kanadische Truppen in Vorbereitung des D-Days im britischen Lydlinch eine Mobil-Brücke, die in feuerverzinktem Stahl ausgeführt wurde. 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 Mikrometern. An den Schraubenköpfen wurden Zinkschichten zwischen 55 und 91 Mikrometern festgestellt. Aufgrund der gemessenen Zinkschichtdicken wird die Lydlinch-Brücke weitere 50 Jahre korrosionsfrei sein und schon bald 100 Jahre alt werden.



➔ Baujahr 1986: Solarhaus Schille, Westerwald
(Architekt: Hans-Jürgen Steuber)



➔ Baujahr 1942: Lydlinch-Brücke, Dorset, England
(Foto: Iqbal Johal)

5 Wirtschaftlichkeit von Korrosionsschutzsystemen

Die Schutzdauer eines Korrosionsschutzsystems beeinflusst in hohem Maße die Wirtschaftlichkeit einer Stahlkonstruktion. Unterschreitet die Schutzdauer die geplante Nutzungsdauer, so fallen zumeist hohe Instandhaltungsaufwände an oder es kommt zu einem vorzeitigen Ausfall der Konstruktion. Für atmosphärisch beanspruchte Stahlbauteile ist der Korrosionsschutz durch Feuerverzinken auch unter wirtschaftlichen Aspekten in der Regel die erste Wahl, da er zumeist bereits bei den Erstkosten günstiger ist und während der Nutzungszeit keiner weiteren Wartung und Instandhaltung bedarf und somit keine Folgekosten entstehen.

5.1 Erstkosten

Von der unabhängigen Stahlbauorganisation [bauforumstahl](http://www.bauforumstahl.de) (www.bauforumstahl.de) wird regelmäßig in Zusammenarbeit mit dem Institut für Bauökonomie der Universität Stuttgart (www.bauoekonomie.uni-stuttgart.de) und dem Conseil Européen des Economistes de la Construction (www.ceecorg.eu) eine Übersicht der Kosten im Stahlbau herausgegeben. Die in der Ausgabe 2013 gemachten Angaben zum Korrosionsschutz (Tabelle 3) zeigen, dass eine Feuerverzinkung im Vergleich zu Beschichtungssystemen in der Regel schon bei den Erstkosten günstiger ist.

5.2 Wartungs- und Instandhaltungskosten

Aufgrund ihrer langen Schutzdauer, die in der Regel 50 Jahre und mehr beträgt, verursacht eine Feuerverzinkung im Gegensatz zu anderen Korrosionsschutzsystemen zumeist keine Folge- und Instandhaltungskosten, da die Schutzdauer üblicherweise die Nutzungsdauer abdeckt.

5.3 Externe Kosten

Durch Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten entstehen oft als „Nebeneffekt“ nicht nur Störungen der betrieblichen Abläufe, sondern auch Behinderungen von unbeteiligten Dritten, beispielsweise an Verkehrsbauten in Form von Staus. Diese stellen sogenannte „externe Kosten“ dar. Durch den Einsatz der wartungsfreien Feuerverzinkung können korrosionsschutzbedingte externe Kosten vermieden werden.



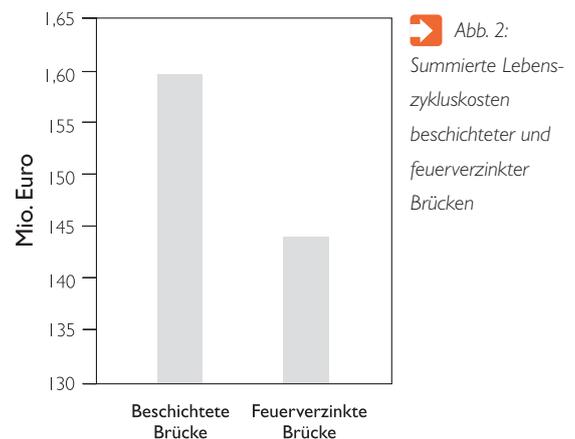
 Feuerverzinkte Brücken
sind wirtschaftlicher.
(Foto: DEGES)

Systeme	Spezifische Oberfläche m ² /t	werkseitig		baustellenseitig	
		Preisindikation		Preisindikation	
		Euro/t	Euro/m ²	Euro/t	Euro/m ²
Nass-Beschichten (Rostschutzgrundierung und 2 Deckschichten inklusive vorheriges Strahlen)					
Konstruktionsart:					
Schwere Profile (HEB 600)	10-15	210-430	16,5-34,5	400-820	32-65,5
Mittelschwere Profile (< IPE 750 / HEB 300)	15-20	235-520	13,5-30,0	530-1.170	30,0-67,0
Mittlere Profile (< IPE 450)	20-25	290-620	13,0-27,5	670-1.450	30,0-65,0
Mittelleichte Profile /< IPE 330)	25-30	310-710	11,0-26,0	825-1.850	30,0-67,5
Leichte Profile (< IPE 240)	30-40	400-1.000	11,5-28,5	980-2.200	28,0-63,0
Leichte Schlosserarbeiten (Geländer, Zäune) mit geringer Massivität (< IPE 160)	40-50	500-1.200	11,0-26,5	1.250-2.880	28,0-64,0
Verzinken/Feuerverzinken (inklusive Entfetten, Beizen und Fluxen, ggf. vorheriges Strahlen)					
Konstruktionsart:					
Schwere Profile (HEB 600)	10-15	230-290	18,5-23,0		
Mittelschwere Profile (< IPE 750 / HEB 300)	15-20	255-305	14,5-17,5		
Mittlere Profile (< IPE 450)	20-25	280-320	12,5-14,5		
Mittelleichte Profile /< IPE 330)	25-30	330-380	12,0-14,0		
Leichte Profile (< IPE 240)	30-40	385-440	11,0-12,5		
Leichte Schlosserarbeiten (Geländer, Zäune) mit geringer Massivität (< IPE 160)	40-50	490-560	10,9-12,4		
Einbrennlackierung von Metallbauelementen aus Stahl					
Pulverbeschichtung	40-50	720-990	16,0-22,0		
Pulverbeschichtung + Zinkgrundierung	45-50	900-1.300	20,0-29,0		

➔ Tabelle 3: „Kosten für Korrosionsschutz“ aus dem Leitfaden „Kosten im Stahlbau 2013“ (Herausgeber: bauforumstahl et al.)

BASSt-Vergleich: Feuerverzinken vs. Beschichten

Eine Studie der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASSt), die eine feuerverzinkte mit einer beschichteten Stahl-Verbundbrücke verglichen hat, kommt zu dem Ergebnis, dass die Feuerverzinkung bereits bei den Erstkosten günstiger ist und die Gesamtkosten (summierte Lebenszykluskosten) der feuerverzinkten Brücke rund 10 Prozent niedriger sind als bei der betrachteten beschichteten Brücke (Abb. 2). Die ermittelten externen Kosten der feuerverzinkten Brücke lagen um 20 Prozent niedriger als bei der beschichteten Brücke. Zwar entstehen an der verzinkten Brücke ebenfalls externe Kosten; diese werden jedoch nicht durch Korrosionsschutzarbeiten, sondern durch andere Instandhaltungsmaßnahmen wie Betonbauarbeiten verursacht.



➔ Abb. 2: Summierte Lebenszykluskosten beschichteter und feuerverzinkter Brücken

6 Nachhaltigkeit von Korrosionsschutzsystemen

Der Korrosionsschutz durch Feuerverzinken ist ein sogenanntes Longer-Life-Produkt. Er hat nur einen geringen Anteil an den Umweltauswirkungen, die durch die Herstellung von feuerverzinktem Stahl entstehen, verlängert aber gleichzeitig die Lebensdauer des Stahls und schafft somit unter Nachhaltigkeitsaspekten einen hohen Nutzen.

6.1 Umweltproduktdeklaration (EPD) „Feuerverzinkte Baustähle“

Für feuerverzinkte Baustähle gibt es eine drittgeprüfte Umweltproduktdeklaration (EPD). EPDs liefern die Grundlage, um Umwelteigenschaften wie beispielsweise den CO₂-Verbrauch eines Produktes darzustellen, und die Datenbasis für eine ökologische Gebäudebewertung. Die EPD für feuerverzinkte Baustähle wurde als sogenannte „Typ III-Deklaration“ nach ISO 14025 und EN 15804 unter Einbeziehung unabhängiger Dritter entwickelt und geprüft. Sie entspricht den internationalen Normen zur Ökobilanzierung. Sie zeigt unter anderem, dass der Anteil der Feuerverzinkung am Gesamtprodukt „Feuerverzinkter Baustahl“ in den meisten Umweltwirkungskategorien unter 10 Prozent liegt. Die EPD „Feuerverzinkte Bau-

stähle“ gilt nur für Mitglieder des Industrieverbandes Feuerverzinken. Download: www.fv.lc/epd

6.2 Nachhaltigkeitsvergleich Feuerverzinken vs. Beschichten

Die Technische Universität Berlin hat in einer Nachhaltigkeitsstudie den Korrosionsschutz durch Feuerverzinken gemäß DIN EN ISO 1461 mit einer Beschichtung gemäß DIN EN ISO 12944 Teil 5 am Beispiel eines Parkhauses in Stahlbauweise verglichen. 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 Korro-

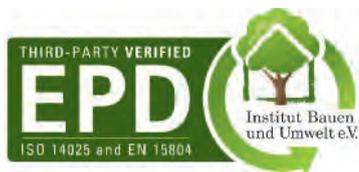
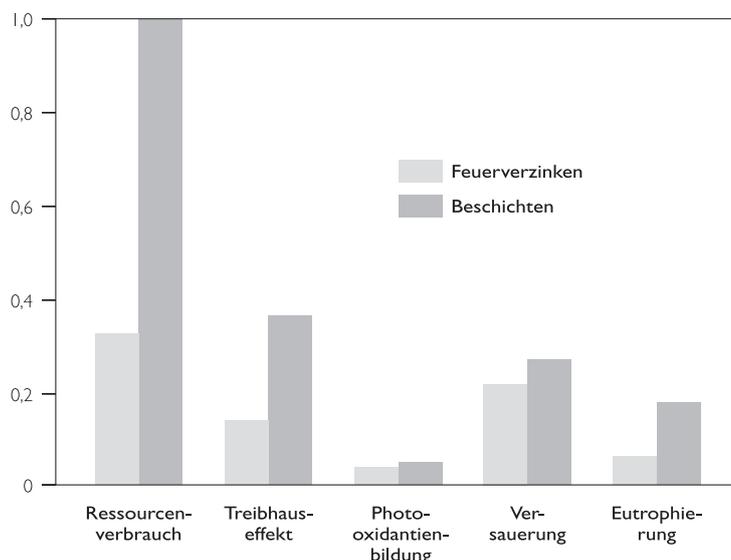


Abb. 3: Umweltbelastung in verschiedenen Wirkungskategorien: Vergleich Feuerverzinken und Beschichten



LCA-Studie	Methode
1. TU Darmstadt	GWP 100 [kg CO ₂]
2. Universidade do Minho Escola de Engenharia	Eco-Indicator 99 [Pt]
3. Stichting Bouwkwaliiteit	Eco Cost [Euro]
4a. Search Consultancy B.V.	ReCiPe Ecopoints [Pt]
4b. Search Consultancy B.V.	ReCiPe Ecopoints [Pt]



➔ Korrosion an beschichteten Stahlträgern eines Parkhauses



➔ Wartungsfrei: Feuerverzinkter Stahl im Parkhausbau

sionsschutz durch Feuerverzinken in allen untersuchten Umweltwirkungskategorien niedrigere Werte aufweist (Abb. 3) als das Beschichtungssystem und unter Nachhaltigkeitsaspekten überlegen ist. So spart der Einsatz einer Feuerverzinkung über die gesamte Nutzungsdauer bis zu 114 kg CO₂ pro Tonne Stahl im Vergleich mit Beschichtungssystemen.

6.3 Nachhaltigkeitsvergleich Feuerverzinkter Stahl vs. Aluminium

Mehrere unabhängige Studien haben Lichtmaste aus feuerverzinktem Stahl mit Lichtmaste aus Aluminium unter Nachhaltigkeitsaspekten verglichen (Tabelle 4). In der Mehrheit der Studien schnitten Maste aus feuerverzinktem Stahl erheblich besser ab als Aluminiummaste. Das schlechtere Ergebnis in der Studie der Universidade do Minho Escola de Engenharia liegt darin begründet,



➔ Feuerverzinkte Lichtmaste sind nachhaltiger
(Foto: Olaf Burmeister; Fotolia)

Recyclinganteil	Feuerverzinkter Stahl	Aluminium	Unterschied zu feuerverzinktem Stahl
keine Angabe	59 kg	93 kg	56%
100%	14,7 Pt	8,2 Pt	-79%
47% Al. 30% Stahl	Euro 50,4	Euro 166,5	230%
47% Al. 30% Stahl	21,1 Pt	48,6 Pt	130%
95%	12,2 Pt	19,7 Pt	60%

➔ Tabelle 4: Nachhaltigkeitsvergleiche Feuer - verzinkter Stahl und Aluminium am Beispiel von Lichtmaste

dass diese einen Recyclinganteil von 100% annimmt und damit ein praxisfernes, unrealistisches Szenario darstellt.

7 Feuerverzinken



 Durch Stückverzinken werden Stahlteile dauerhaft geschützt.

Das Feuerverzinken ist das bedeutendste Korrosionsschutzverfahren. Das Grundprinzip des Feuerverzinkens, das heißt das Eintauchen von Stahl in flüssiges Zink, wurde 1742 durch den französischen Chemiker Paul-Jacques Malouin entdeckt. Mitte des 19. Jahrhunderts entstanden erste Verzinkereien, die leichte Blechwaren und Geschirre durch rein handwerkliche Tätigkeit verzinkten. In der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts erfuhr das Feuerverzinken eine dynamische Weiterentwicklung. Zahlreiche forschungsbasierte Innovationen führten zu der heute vorherrschenden modernen Verfahrenstechnik, die nur noch das Grundprinzip mit dem Feuerverzinken von gestern gemein hat. Durch die Vergrößerung der Verzinkungsbäder erschloss sich das Feuerverzinken vielfältige neue Anwendungsbereiche. Derzeit werden in Deutschland pro Jahr ca. 5 Mio. Tonnen Stahl durch Feuerverzinken vor Korrosion geschützt. 1,8 Mio. Tonnen davon werden durch das in dieser Broschüre beschriebene Verfahren nach DIN EN ISO 1461 stückverzinkt.

7.1 Das Stückverzinkungsverfahren

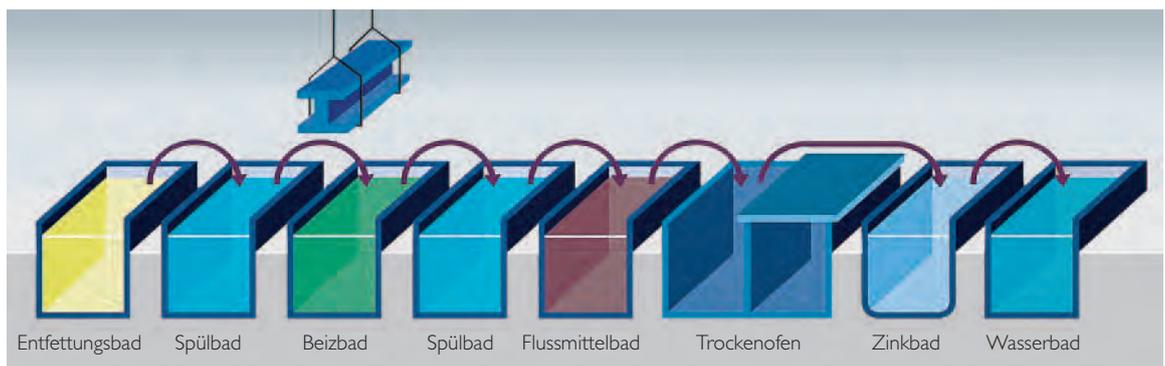
Stückverzinken heißt, vorgefertigte Stahlteile nach entsprechender Vorbehandlung durch Tauchen in eine flüssige Zinkschmelze an der Oberfläche zu legieren und mit Zink zu überziehen.

7.2 Die Verfahrensschritte

Nach Anlieferung und Eingangsprüfung der zu verzinkenden Teile werden diese zu möglichst bauteilähnlichen Chargen zusammengestellt und an Traversen aufgehängt bzw. in Gestelle geladen. Danach erfolgt eine Oberflächenvorbehandlung und das eigentliche Verzinken durch Eintauchen in Bäder mit entsprechenden flüssigen Medien.

Im Rahmen der Vorbehandlung wird das Verzinkungsgut in ein Entfettungsbad getaucht. Hierbei werden Öle und Fette, die dem Stahl aus dem Herstellungs- und Weiterverarbeitungsprozess anhaften, entfernt. Im Anschluss werden die

 Abb. 4: Verfahrensablauf des Stückverzinkens (schematisch dargestellt)



Stahlteile in einem Wasserbad gespült. Dann folgen Beizbäder, die Rost und Zunder von der Oberfläche lösen. Ein anschließendes Spülbad verhindert die Verschleppung von Beizflüssigkeit. Im Flussmittelbad erhält die Oberfläche einen dünnen Film, der später die metallurgische Reaktion zwischen Stahloberfläche und Zinkschmelze unterstützt. Im Anschluss wird das Verzinkungsgut zumeist in einem Trockenofen getrocknet. Nach dem Trocknen wird das Verzinkungsgut in die flüssige Zinkschmelze getaucht.

Zink hat eine Schmelztemperatur von 419 °C; die Betriebstemperatur eines Verzinkungsbades liegt zumeist zwischen 440 °C und 460 °C, in besonderen Fällen auch höher (Hochtemperaturverzinkung). Während des Verzinkungsvorganges bildet sich als Folge einer wechselseitigen Diffusion des flüssigen Zinks mit der Stahloberfläche auf dem Stahlteil ein Überzug verschiedenartig zusammengesetzter Eisen-Zink-Legierungsschichten. Beim Herausziehen der feuerverzinkten Gegenstände bleibt auf der obersten Legierungsschicht zumeist noch eine Schicht aus Zink, Reinzinkschicht genannt, haften. Je nach Art der Eisen- und Stahlteile und ihrer Werkstoffzusammensetzung werden die Werkstücke abschließend in einem Wasserbad oder an der Luft abgekühlt.

7.3 Spezielle Formen des Stückverzinkens

Feuerverzinken von Kleinteilen

Prinzipiell können Kleinteile nach dem klassischen Verfahren feuerverzinkt werden. In der Praxis wurden für das Feuerverzinken von Kleinteilen (Schrauben, Muttern, Nägel bzw. Stifte und ähnliche Schüttgüter) jedoch speziell automatisierte oder teilautomatisierte Verfahrensvarianten entwickelt. Unmittelbar nach dem Feuerverzinken ist ein Zentrifugieren (Schleudern) der Teile vorgesehen, wodurch „überflüssiges“ Zink von den Teilen abgeschleu-

dert wird. Das Zentrifugieren verbessert das Passvermögen und die Gleichmäßigkeit der verzinkten Bauteiloberflächen. Um ein Zusammenkleben der feuerverzinkten Teile zu verhindern, werden die Kleinteile in der Regel in einem Wasserbad abgekühlt.

Hochtemperaturverzinken

Beim Hochtemperaturverzinken hat das Zinkbad eine höhere Temperatur, die über 530 °C liegt. Es kommt sowohl für das Feuerverzinken von Kleinteilen als auch für das Feuerverzinken größerer Bauteile zur Anwendung.



 Kleinteile wie Schrauben können ebenfalls feuerverzinkt werden.

8 Eigenschaften der Stückverzinkung

➔ Strommaste – als Kunstwerk und in üblichem Einsatz, Oberhausen.
(Foto: Inges Idee)



Der Korrosionsschutz durch Feuerverzinken weist einige positive Besonderheiten auf, die ihn im Vergleich mit anderen Korrosionsschutzsystemen bevorzugt zur Anwendung kommen lassen.

8.1 Eine Feuerverzinkung ist dauerhaft.

Unter normalen Bedingungen schützt sie mehr als 50 Jahre vor Korrosion und selbst bei höherer Belastung (z. B. an der Meeresküste) beträgt die Schutzdauer in der Regel mehr als 30 Jahre.

8.2 Das Feuerverzinken ist prozesssicher.

Als rein industrieller Korrosionsschutz ab Werk wird das Feuerverzinken unter standardisierten und definierten Bedingungen gemäß

DIN EN ISO 1461 in zertifizierten Unternehmen durchgeführt. Witterungs- und Temperatureinflüsse wie bei anderen Verfahren spielen keine Rolle.

8.3 Der Zinküberzug ist per Legierung mit dem Stahl verbunden.

Der Zinküberzug ist unlösbar mit dem Stahl verbunden. Unterrostungen, die bei anderen Korrosionsschutzsystemen auftreten können, sind ausgeschlossen.

8.4 Ein Zinküberzug ist robust.

Zinküberzüge sind mechanisch hoch belastbar. Beanspruchungen, die bei Transport, Aufbau und Nutzung von Stahlkonstruktionen auftreten, hinterlassen keine Beschädigungen an der Zinkschicht. Nicht zufällig werden feuerverzinkte Gitterroste auch als Fußabtreter eingesetzt.

8.5 Eine Feuerverzinkung ist wartungsfrei.

Instandhaltungsarbeiten, die zusätzliche Kosten und Betriebsstörungen verursachen, fallen bei einer Feuerverzinkung in der Regel während der gesamten Nutzungsdauer nicht an.

8.6 Eine Feuerverzinkung ist wirtschaftlich.

Die Wirtschaftlichkeit eines Korrosionsschutzsystems wird durch die Erstkosten sowie durch eventuell anfallende Wartungs- und Instandhaltungskosten bestimmt. Bei der Betrachtung der Erstkosten ist eine Feuerverzinkung zumeist günstiger als andere Schutzsysteme für Stahl. Im Hinblick auf die langfristigen Kosten wirken sich Langzeitigkeit und Wartungsfreiheit der feuerverzinkten Oberfläche besonders positiv aus und machen die Feuerverzinkung unschlagbar wirtschaftlich.

8.7 Eine Feuerverzinkung ist nachhaltig.

Durch Feuerverzinken werden Ressourcen gespart. Zahlreiche wissenschaftliche Studien belegen, dass Zinküberzüge deutlich nachhaltiger sind als andere Korrosionsschutzverfahren und dass feuerverzinkter Stahl nachhaltiger ist als andere Werkstoffe. Sowohl der Zinküberzug als auch der Stahl können unendlich oft ohne Qualitätsverlust recycelt werden.

8.8 Eine Feuerverzinkung bietet einen Rundum-Schutz.

Da bei der Feuerverzinkung die Bauteile im Tauchverfahren verzinkt werden, sind korrosionsgefährdete Bereiche wie Hohlräume, Winkel und schlecht zugängliche Stellen gut geschützt. Verfahrensbedingt weisen Ecken und Kanten gleiche oder sogar größere Schichtdicken als die Bauteiloberfläche auf (Abb. 6). Die sogenannte Kantenflucht,

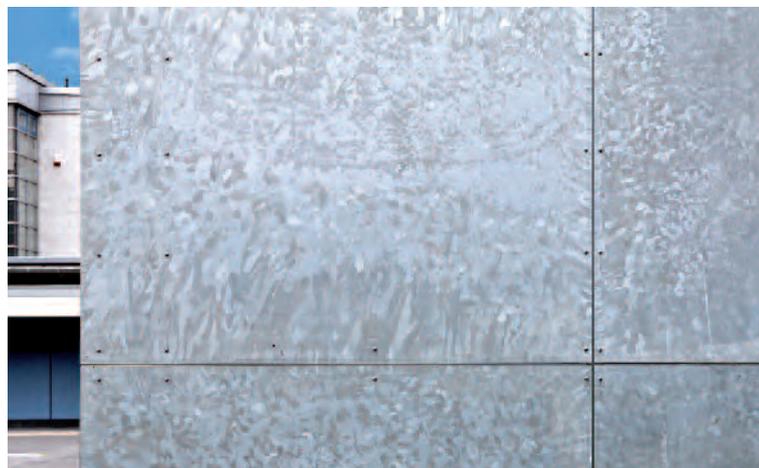
die bei anderen Korrosionsschutzsystemen auftreten kann, gibt es hier nicht.

8.9 Kathodischer Schutz

Zwar ist eine Feuerverzinkung weitgehend beständig gegen mechanische Belastungen, doch können bei sehr extremer Beanspruchung Kratzer und Schrammen auftreten. Bei derartigen Beschädigungen wirkt der sogenannte kathodische Schutz, der auf elektrochemischem Wege Schadstellen vor Korrosion schützt.

8.10 Metallische Oberfläche

Eine Feuerverzinkung ist ein metallisches Korrosionsschutzsystem und bewahrt den metallischen Charakter und die Oberflächenstruktur des Stahls. Architekten setzen feuerverzinkten Stahl deshalb beispielsweise zunehmend zur Gestaltung von Fassadenoberflächen ein.



➔ Feuerverzinkter Stahl wird zunehmend als Fassadenelement verwendet.

9 Zinküberzüge

Da die metallurgischen Reaktionen zwischen Eisen und flüssigem Zink sehr kompliziert verlaufen, werden in diesem Kapitel nur die wesentlichen technologischen Vorgänge in vereinfachter Form erläutert. Details können der einschlägigen Literatur entnommen werden.

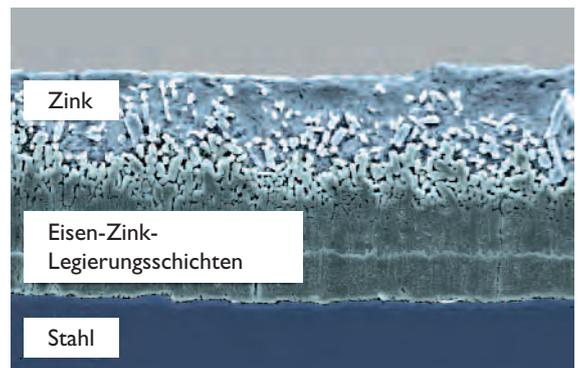
Während des Verzinkungsvorgangs bilden sich auf der Oberfläche der Stahlteile Eisen-Zink-Legierungsschichten. Beim Herausziehen aus dem Zinkbad überziehen sich diese zumeist mit einer Reinzinkschicht. Hierdurch entsteht ein glänzender Überzug – häufig mit ausgeprägtem Zinkblumenmuster. Abb. 7 zeigt das Schlibbild eines solchen Überzugs.

Die Schutzdauer eines Zinküberzugs wird primär durch seine Schichtdicke bestimmt. Mindestschichtdicken für Zinküberzüge sind in der Norm DIN EN ISO 1461 festgelegt (Abb. 5), wobei in der Praxis zumeist Schichtdicken oberhalb dieser Mindestanforderungen erreicht werden, die abhängig von

➔ Abb. 6: Zinküberzug an einer Werkstückkante

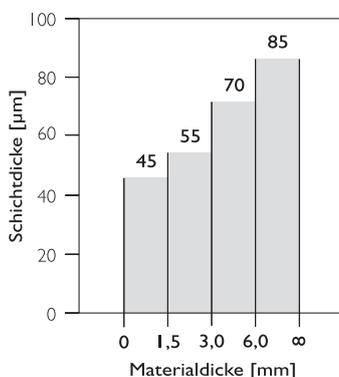


➔ Abb. 7: Schlibbild eines typischen Zinküberzuges

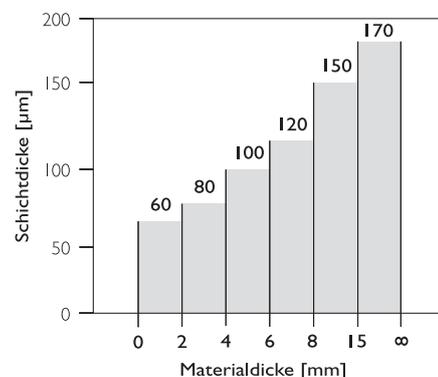


der Bauteildicke zwischen 60 und mehr als 200 Mikrometern liegen können (Abb. 8).

Durch Stückverzinken hergestellte Zinküberzüge sind im Regelfall an Ecken und Kanten mindestens



➔ Abb. 5: Mindestzinkschichtdicken in Mikrometer nach DIN EN ISO 1461



➔ Abb. 8: Praxisübliche Zinkschichtdicken



 Fassade der
 Salvatorgarage,
 München
 (Architekten: Studio
 für Architektur Peter
 Haimerl, München)

ebenso dick wie auf den angren-
 zenden Flächen; bei reaktions-
 freudigen Stahlsorten sogar häufig
 dicker. Der Grund hierfür ist, dass
 die einzelnen Kristalle der Eisen-
 Zink-Legierungsschichten senkrecht
 zur Stahloberfläche wachsen. An
 Ecken und Kanten öffnen sich die
 Legierungsschichten deshalb fächer-
 förmig und die Zwischenräume
 füllen sich mit Zink (Abb. 6).



 Feuerverzinktes Bauteil mit ausgeprägtem Zinkblumenmuster

10 Korrosionsverhalten von Zinküberzügen

10.1 Schutzdauer

Neben Kostenerwägungen spielt die Schutzdauer bei der Entscheidung für ein Korrosionsschutzsystem eine zentrale Rolle. Diese setzt sich aus der Summe der Beständigkeiten gegen bestimmte geforderte bzw. zu erfüllende Belastungsarten zusammen, die atmosphärischer, mechanischer, chemischer und thermischer Natur sein können. Da in der Praxis bei der Mehrzahl der Anwendungen chemische und thermische Belastungen keine große Bedeutung haben, wird an dieser Stelle schwerpunktmäßig auf die atmosphärische und mechanische Beständigkeit eingegangen. Dennoch sei erwähnt, dass

eine Feuerverzinkung ausgezeichnete chemische und auch thermische Eigenschaften besitzt. Zinküberzüge zeigen bei pH-Werten zwischen 5,5 und 12,5 ein stabiles Verhalten und sind bei atmosphärischer Belastung temperaturbeständig bis 200 °C.

10.2 Atmosphärische Beständigkeit

Zink ist ein nicht sehr beständiges Metall. Es hat jedoch eine positive Eigenschaft: Es bildet infolge der Bewitterung Deckschichten. Diese vorwiegend basischen Zinkverbindungen übernehmen den Schutz des Zinks und damit der Stahlober-

fläche. Die Deckschichten werden zwar im Laufe der Zeit durch Wind und Wetter abgetragen, erneuern sich jedoch ständig durch das darunter befindliche Zink. Das bedeutet, dass Zinküberzüge im Laufe der Zeit langsam dünner werden, wobei der Einfluss der Atmosphäre hinsichtlich der jährlich zu erwartenden Zinkkorrosion einen entscheidenden Einfluss ausübt. So lässt sich aus der Kenntnis der zu erwartenden Korrosionsbelastung des Zinküberzugs, die primär von den Bedingungen am Standort des Objektes abhängig ist, und der Dicke des vorhandenen Zinküberzugs die zu erwartende Dauer der Korrosionsschutzwirkung abschätzen.

 **Tabelle 5:**
Korrosionsbelastung
und Korrosionsraten
von Zinküberzügen
in verschiedenen
Atmosphärentypen
nach DIN EN ISO
14713-1

Korrosivitätskategorie	Korrosionsbelastung	Durchschnittlicher Zink-Abtrag pro Jahr	Beispiele
C 1	sehr niedrig	< 0,1 µm	Innen: beheizte Räume, z.B. Büros, Schulen
C 2	gering	0,1 bis 0,7 µm	Innen: nicht beheizte Räume, z.B. Lagerräume, Sporthallen Außen: ländliche Bereiche
C 3	mittel	0,7 bis 2,0 µm	Innen: Lebensmittelverarbeitung, Brauereien, Wäschereien, Molkereien, leitungswasserbetriebene Schwimmbäder Außen: städtische Bereiche, Küstenbereiche
C 4	hoch	2,0 bis 4,0 µm	Innen: Schwimmbäder, Industrieanlagen, Außen: stark verunreinigte städtische Bereiche, industrielle Bereiche, Küstenbereiche (ohne Versprühen von Salzwasser), starke Tausalzbelastung
C 5	sehr hoch	4,0 bis 8,0 µm	Innen: Bergwerke, industriell genutzte Kavernen Außen: industrielle Bereiche, Küstenbereiche (mit Versprühen von Salzwasser), Schutzhütten an der Küste
C X	extrem	8,0 bis 25 µm	Extrem hochkorrosive Atmosphäre, Industrieanlagen in subtropischem und tropischem Klima

Beispiel: Abschätzung der Schutzdauer eines Zinküberzugs:

Ein Zinküberzug mit einer Zinkschichtdicke von 85 Mikrometern erreicht bei einem Zinkabtrag von 1,7 Mikrometern pro Jahr eine Schutzdauer von 50 Jahren. 85 Mikrometer Zinkschicht - dicke / 1,7 Mikrometer Zinkabtrag pro Jahr = 50 Jahre

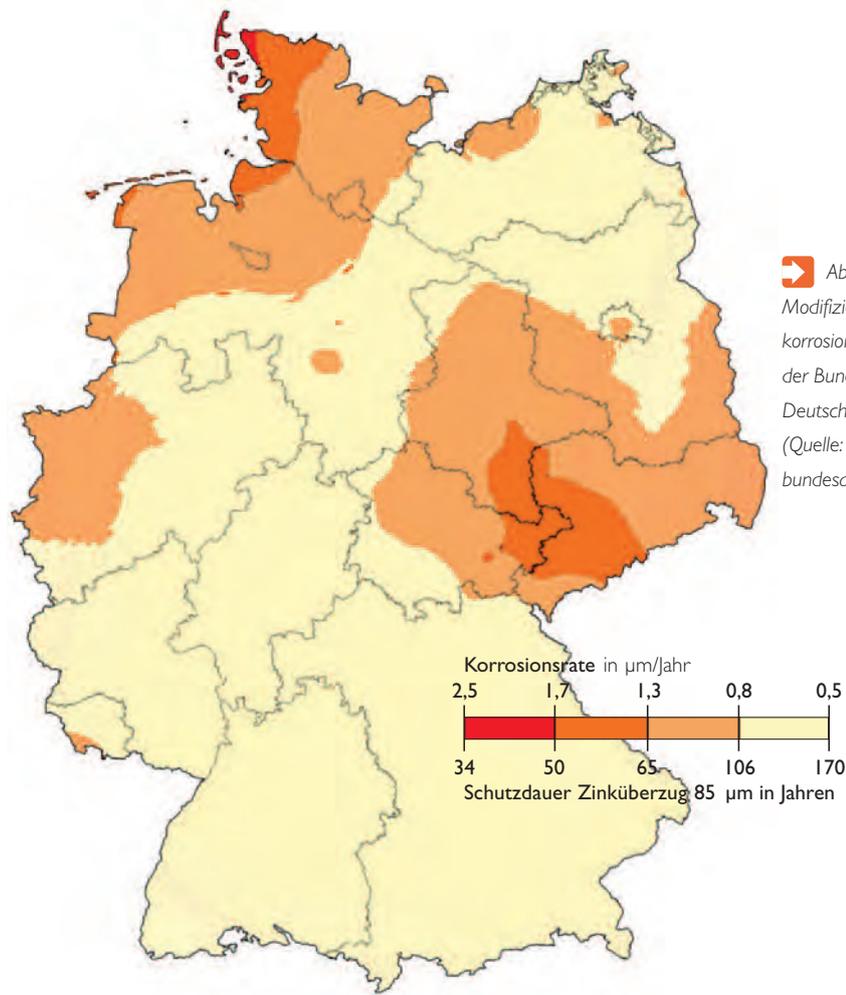


Abb. 9: Modifizierte Zinkkorrosionskarte der Bundesrepublik Deutschland (Quelle: Umweltbundesamt)

Durch Umweltschutzmaßnahmen hat sich die Belastung der Atmosphäre mit korrosiven Verunreinigungen in den vergangenen Jahrzehnten deutlich verringert. So ist die SO_2 -Konzentration, die den sogenannte „sauren Regen“ verursacht, erheblich zurückgegangen. Hierdurch hat sich die Schutzdauer von Zinküberzügen erhöht. Heute beträgt die mittlere Korrosionsgeschwindigkeit von Zink in Deutschland ca. 1 µm pro Jahr:

Infobox:

Vergleich der Korrosionsbeständigkeit:

Stückverzinken nach DIN EN ISO 1461 und Legierungsüberzüge

Durch Feuerverzinken nach DIN EN ISO 1461 hergestellte Zinküberzüge sind sogenannte Reinzink-Überzüge, die sich in der Praxis und in zahlreichen Langzeittests als dauerhaft bewährt haben. Seit einiger Zeit werden schmelztauchveredelte Legierungsüberzüge auf Zink-Aluminium- und Zink-Aluminium-Magnesium-Basis am Markt angeboten, die mit vollmundigen Versprechen wie „Weniger ist mehr“ oder gar „10 Mal besser als Stückverzinken“ seitens ihrer Hersteller propagiert werden und ihre Aussagen aus fragwürdigen Kurzzeittests wie beispielsweise dem Salzsprühstest ableiten. Bei einem seriösen, faktenbasierten Vergleich dieser Legierungsüberzüge mit dem Stückverzinken nach DIN EN ISO 1461 zeigt sich, dass diese bei der in Deutschland vorherrschenden atmosphärischen Korrosivität ähnliche Korrosionsraten (pro Jahr) aufweisen. Da Zinküberzüge nach DIN EN ISO 1461 jedoch deutlich höhere Schichtdicken besitzen als die genannten Legierungsüberzüge, erreichen sie auch eine deutlich längere Schutzdauer. Mehr hierzu im Special „Verzinken ist nicht Verzinken“ unter www.feuerverzinken.com/special-verzinken.

10.3 Mechanische Beständigkeit

Korrosionsschutzsysteme sind oft vielfältigen mechanischen Belastungen ausgesetzt. Ein Zinküberzug geht in Form einer Legierung eine feste, unlösliche Verbindung mit dem Stahl ein. Die Härte der Eisen-Zink-Legierungsschichten (Abb. 10) liegt erheblich über der Härte nor-

maler Baustähle. Dies gewährleistet eine hohe Verschleiß- und Abriebbeständigkeit von Zinküberzügen und bietet einen zuverlässigen Schutz bei mechanischen Belastungen.

Mechanische Belastungen treten während der Bauphase bei Transport, Handling und Montage auf sowie während der Betriebs- und

Nutzungsphase, beispielsweise in Form von Steinschlag, Sandabrieb und Stößen. Derartige mechanische Einwirkungen können Kratzer, Schrammen und andere Beschädigungen verursachen, die die Funktionsfähigkeit eines Korrosionsschutzsystems reduzieren oder gar aufheben und die Schutzdauer erheblich verkürzen. Durch wissenschaftliche Untersuchungen konnte



 Busbahnhof, Aarau, mit feuerverzinktem und beschichtetem Tragwerk (Architekten: Vehovar Jauslin; Ingenieure: formTL; Foto: Niklaus Spoerri)

die mechanische Belastbarkeit der Feuerverzinkung im Vergleich mit organischen Beschichtungssystemen quantifiziert werden (Abb. 11).

Eine Feuerverzinkung

- ist bis zu 20 Mal härter als eine durchschnittliche Farbbeschichtung,
- hat eine drei- bis vierfach höhere Haftfestigkeit,
- ist etwa zehn Mal abriebbeständiger,
- hat eine ca. achtfach höhere Steinschlagbeständigkeit und
- besitzt einen ca. 20-fach besseren Kantenschutz.

10.4 Duplex-Systeme

Duplex-Systeme kombinieren eine Feuerverzinkung mit einer anschließenden Beschichtung. Sie werden bei extrem hoher Korrosionsbelastung eingesetzt sowie da, wo Farbgebung eine Rolle spielt. Dies kann aus gestalterischen Gründen geschehen, zur Signalgebung oder aber zur Tarnung von Objekten.

Die Korrosionsbeständigkeit feuerverzinkten Stahls ist bei normaler atmosphärischer Beanspruchung auf Jahrzehnte sichergestellt. Bei sehr extremer Beanspruchung bietet ein Duplex-System einen Korrosionsschutz, dessen Schutzdauer im Regelfall länger ist als die Summe der jeweiligen Einzelschutzdauer der Feuerverzinkung und der Beschichtung. Man spricht hier von einem Synergie-Effekt. Der sich einstellende Verlängerungsfaktor liegt je nach System zwischen 1,2 und 2,5.

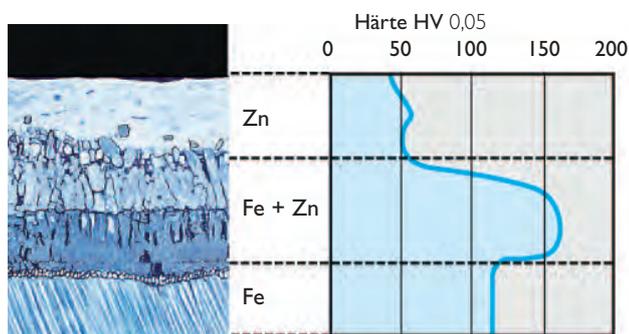


Abb. 10: Härteverlauf in einem Zinküberzug (Schematische Darstellung)

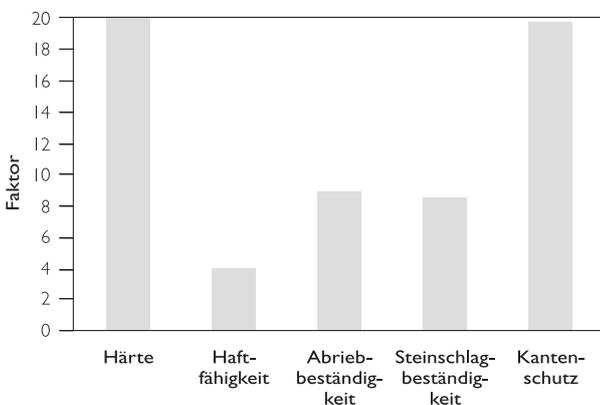


Abb. 11: Eigenschaftvergleich Feuerverzinken und Beschichten: Faktor, um den die Feuerverzinkung überlegen ist.

Die Beschichtung eines Duplex-Systems kann als Flüssig- oder Pulverbeschichtung ausgeführt werden. Ausführungen zu Duplex-Systemen mit Flüssigbeschichtungen macht die DIN EN ISO 12944 („Korrosionsschutz von Stahlbauten durch Beschichtungssysteme“), Teile 1–8. Besonders wichtig sind die Empfehlungen zu geeigneten Schutzsystemen im Teil 5 der Norm. Soll ein Duplex-System mit einer Pulverbeschichtung ausgeführt werden, so liefert DIN 55633 Empfehlungen und Hinweise. Die in DIN EN ISO 12944-5 und in DIN 55633 dargestellte Schutzdauer betrifft jeweils nur die Farbbeschichtung und nicht das Gesamtsystem aus Feuerverzinkung und Beschichtung, das eine deutlich höhere Schutzdauer besitzt. Wichtige Informationen zur Auswahl, Ausführung und Anwendung von Duplex-Systemen können der Broschüre „Korrosionsschutz durch Duplex-Systeme“ des Instituts Feuerverzinken entnommen werden.

II Ausschreibung und feuerverzinkungsgerechtes Konstruieren und Fertigen

Sollen Stahlteile durch Feuerverzinken gegen Korrosion geschützt werden, müssen wie auch bei anderen Verfahren bei der Planung und Konstruktion einige Besonderheiten berücksichtigt werden. Nachfolgend sind die wichtigsten Aspekte des feuerverzinkungsgerechten Konstruierens und Fertigen dargestellt. Detailliertere Informationen hierzu können den Arbeitsblättern Feuerverzinken entnommen werden unter: www.fv.lc

II.1 Ausschreibung/ Auftragsvergabe

Feuerverzinkungsbetriebe veredeln in der Regel Stahlteile im Auftrag ihrer Kunden. Grundlage derartiger Aufträge ist die DIN EN ISO 1461 („Durch Feuerverzinken auf Stahl aufgebrauchte Zinküberzüge [Stückverzinken]“) (siehe S. 38).

Da es unter dem Oberbegriff „Verzinkung“ verschiedene Verfahren (siehe S. 6) mit unterschiedlichen Schutzwirkungen gibt, ist es wichtig, bei Ausschreibungstexten präzise zu formulieren. Es sollte Bezug auf die DIN EN ISO 1461 genommen werden, denn nur sie gewährleistet einen Korrosionsschutz durch Stückverzinken. Bei der Auftragserteilung empfiehlt es sich, die oben genannte Norm als Grundlage heranzuziehen. Sind besondere, nicht von der Norm abgedeckte, Anforderungen vorhanden, so sind hierüber individuelle Vereinbarungen zu treffen. Für tragende Stahlbauteile im Bauwesen, die feuerverzinkt werden sollen, ist die DASt-Richtlinie 022 verbindlich zu berücksichtigen (siehe S. 38). Um mögliche Probleme von vornherein auszuschließen, ist zu beachten, dass – für die betreffende Konstruktion ein Stahlwerkstoff einge-

setzt wird, der für das Feuerverzinken geeignet ist, und – die gesamte Konstruktion feuerverzinkungsgerecht zu konstruieren und zu fertigen ist.

II.2 Anforderungen an den Werkstoff Stahl

Grundsätzlich lassen sich alle gängigen Baustahlsorten feuerverzinken, allerdings können Aussehen und Dicke des Zinküberzugs differieren. Beim Feuerverzinken findet eine Reaktion der Stahloberfläche mit der Zinkschmelze statt. Das Ergebnis dieser Reaktion, der Zinküberzug bzw. die Zink-Eisen-Legierung, ist in entscheidendem Maße abhängig von der chemischen Zusammensetzung – insbesondere dem Silizium- und Phosphor-Gehalt – der Stähle, der Topografie der Stahloberfläche und von den Verzinkungsbedingungen (Schmelztemperatur, Tauchdauer).

In bestimmten Gehalten können Silizium und Phosphor die Eisen-Zink-Reaktion derart beschleunigen, dass dickere Zinküberzüge entstehen (Abb. 12). Diese Zinküberzüge haben meist ein mattes oder graues Aussehen und eine raue Oberfläche. Die Gehalte an Silizium und Phosphor im Stahl können sich zudem in ihrer Wirkung addieren. Die verschiedenen praxisüblichen Gehalte an Silizium (Si) und Phosphor (P) in allgemeinen Baustählen und ihre Auswirkungen auf den Zinküberzug sind in Tabelle 6 beschrieben.

Infobox:

Beispielhafter Ausschreibungstext für eine feuerverzinkte Stahlkonstruktion:

1. Stahlbauteil mit Korrosionsschutz durch Feuerverzinken (Stückverzinken) gemäß DIN EN ISO 1461.
2. Für tragende feuerverzinkte Metall- und Stahlbauteile nach Bauregelliste A, Teil 1, Lfd. Nr. 4.9.15 ist die DASt-Richtlinie 022 „Feuerverzinken von tragenden Stahlbauteilen“ zusätzlich anzuwenden.
3. Bei der Stahlbestellung ist die Option „Feuerverzinken“ nach der jeweiligen Erzeugnisnorm zu wählen.
4. Die gesamte Konstruktion ist feuerverzinkungsgerecht zu konstruieren und zu fertigen.
5. Alle Verbindungsmittel (Schrauben, Muttern usw.) feuerverzinkt gemäß DIN EN ISO 10684.

Aktuelle Ausschreibungstexte zum Feuerverzinken:
www.feuerverzinken.com/ausschreibungstexte

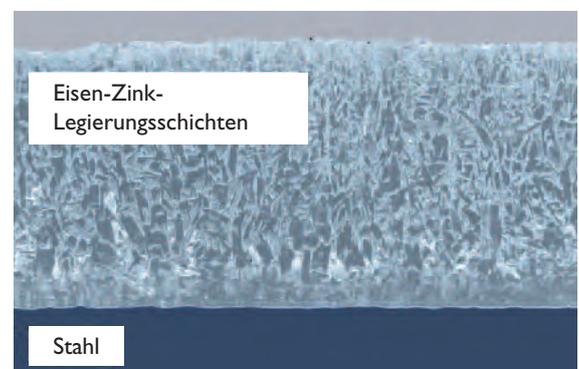


➔ Feuerverzinkte Brücke, Königgrätz (Architekten: baum & baroš Architekten, Roetgen/Aachen)

Die Übergänge zwischen den Kategorien sind fließend und abhängig von der Art der Konstruktion, der Tauchdauer und der Temperatur der Zinkschmelze. Werden Stähle mit unterschiedlichem Si- und P-Gehalt innerhalb eines Bauwerkes oder Bauteiles verwendet, ist ein unterschiedliches Aussehen des Zinküberzugs möglich. Die Feuerverzinkerei hat keine Möglichkeit, das durch die Stahlzusammensetzung bedingte Verzinkungsverhalten der Stähle und damit auch das Aussehen der Zinküberzüge nennenswert zu beeinflussen. Aus diesem Grund kommt der Auswahl von Stählen für das Feuerverzinken für manche Bereiche eine besondere Bedeutung zu. Mehr Informationen zur Stahlbestellung enthält das Arbeitsblatt Feuerverzinken B.2 (www.fv.lc/ab-b2).

11.3 Vorbereitung der Stahloberfläche

Für ein optimales Verzinkungsergebnis sind die chemische Zusammensetzung und die Oberflächenbeschaffenheit des Grundwerkstoffes von entscheidender Bedeutung. Eine metallisch blanke Stahloberfläche ist die Grundvoraussetzung. Jede Stahloberfläche ist mit arteigenen oder artfremden Schichten bedeckt. Zu den arteigenen Schichten gehören Rost und Zunder. Diese werden prozessbedingt im Rahmen der Vorbehandlung in der Feuerverzinkerei entfernt. Zu den artfremden Schichten gehören u. a. Metallseifen, Fette und Öle, Staub, alte Korrosionsschutzbeschichtungen und Rückstände von Fertigungshilfsmitteln. Diese sind durch das Metallbauunter-



nehmen zu entfernen, wenn sie nicht im Rahmen der Vorbehandlung in der Feuerverzinkerei entfernt werden können.

➔ Abb. 12 Schliffbild eines Zinküberzugs mit durchgewachsener Legierungsschicht

Kategorie	Bezeichnung und Gehalte von Silizium und Phosphor im Stahl [Gewichts-%]	Reaktion und Bezugseigenschaften
A	Niedrigsiliziumbereich: ≤ 0,04% Si und < 0,02% P	Normale Eisen-Zink-Reaktion, silbriges, glänzendes Aussehen, niedrige Schichtdicke
B	Sebistybereich: > 0,14% bis 0,25% Si	Normale Eisen-Zink-Reaktion, silbriges, glänzendes bis mattes Aussehen, mittlere Schichtdicke
C	Sandelinbereich: > 0,04% bis ≤ 0,14% Si	Beschleunigte Eisen-Zink-Reaktion, graues, mattes zum Teil grießiges Aussehen, sehr hohe Schichtdicke
D	Hochsiliziumbereich: > 0,25% Si	Beschleunigte Eisen-Zink-Reaktion, graues mattes Aussehen, hohe Schichtdicke, ab 0,35% Si sehr hohe Schichtdicke

➔ Tabelle 6: Differenzierung nach Silizium und Phosphor in Kategorien in Anlehnung an DIN EN ISO 14713-2

11.4 Abmessungen, Gewichte und konstruktive Gestaltung des Verzinkungsgutes

11.4.1 Badabmessungen, Stückgewichte

Verzinkungsbäder haben unterschiedliche Größen. Die zur Verfügung stehende Größe des Verzinkungsbades sollte bereits bei Festlegung der Konstruktion und ihrer Details bekannt sein. Die in Feuerverzinkereien in der Bundesrepublik Deutschland vorhandenen Verzinkungskessel haben maximale Abmessungen bis ca. 19,5 m Länge, bis ca. 2,0 m Breite und ca. 3,5 m Tiefe. Ein weiterer zentraler Aspekt ist das Gewicht des zu verzinkenden Bauteils. Hierbei müssen die Hublasten der Kräne in der Feuerverzinkerei berücksichtigt werden. Es ist deshalb erforderlich, sowohl die maximalen Abmessungen der Einzelteile als auch deren maximales Gewicht mit der Feuerverzinkerei frühzeitig abzustimmen.

11.4.2 Sperrige Teile

Sperrige Bauteile verhindern eine optimale Beladung der Gestelle und Traversen in der Verzinkerei und verursachen somit höhere Kosten. Konstruktionen sollten daher möglichst glatt und ebenflächig (zweidimensional) geplant sein, auch auf die Gefahr hin, dass dadurch der spätere Montageaufwand steigt (Abb. 13). Derartige Stahlteile lassen sich einfacher und rationeller transportieren sowie kostengünstiger und qualitativ besser feuerverzinken.

11.4.3 Aufhängepunkte

Die Aufhängung von Stahlteilen sollte an Stellen möglich sein, die sicherstellen, dass das flüssige Zink beim Herausziehen der Stahlteile aus dem Zinkbad problemlos ablaufen kann. Aus diesem Grund sollten die Aufhängepunkte auch gegebenenfalls die vorhandene Anordnung der Zulauf- und Entlüftungsöffnungen berücksichtigen. Durch die richtige Anordnung der Aufhängung und der Entlüftungsöffnungen wird vermieden, dass Zink

unbeabsichtigt aus der Schmelze ausgeschleppt wird und dadurch zu einer hohen Gewichtsbelastung des Bauteils führen kann.

Bei hohen Stückgewichten, sehr großen oder auch weichen Stahlkonstruktionen sollte genau festgelegt sein, wo die Stahlteile aufgehängt werden können, ohne dass sie beschädigt werden. Bei Großkonstruktionen muss die Tragfähigkeit derartiger Aufhängepunkte gegebenenfalls berechnet werden.

11.4.4 Werkstoffdicken

Optimal sind Werkstücke mit möglichst gleichen oder nahezu gleichen Werkstoffdicken. Da dieses im Regelfall nicht sichergestellt ist, sollte darauf geachtet werden, dass das Verhältnis von maximaler zu minimaler Werkstoffdicke möglichst 1:5 nicht überschreitet.

11.4.5 Überlappungen

Überlappungsflächen sind aus Gründen des Korrosionsschutzes nach Möglichkeit zu vermeiden



Abb. 13: Sperrige Bauteile möglichst vermeiden.

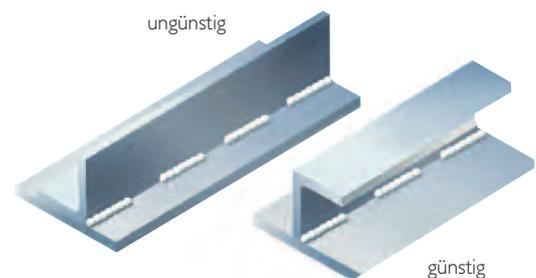


Abb. 14: Großflächige Überlappungen möglichst vermeiden.

(Abb. 14). In die entstehenden Spalte kann Flüssigkeit aus den Vorbehandlungsbädern eindringen, die beim Tauchen in die Zinkschmelze explosionsartig verdampft. Überlappungsflächen bis ca. 100 cm² sind möglichst ringsum dicht zu verschweißen. Größere Überlappungen sind mit Entlastungsöffnungen zu versehen (Abb. 15).

11.4.6 Freischnitte und Durchflussöffnungen

Um Konstruktionen aus Profilstahl in guter Qualität feuerverzinken zu können, sind Verstärkungen, Schottbleche oder Ähnliches mit Freischnitten zu versehen. Da die Stahlteile beim Tauchen in die verschiedenen Behandlungsbäder in der Feuerverzinkerei stets schräg getaucht werden, muss die Anordnung der Öffnungen so erfolgen, dass das Zink ohne Behinderung aus Ecken und Winkeln einer Konstruktion ein- und ablaufen kann (Abb. 15). Andernfalls wird Zink mit ausgeschleppt oder Lufteinschlüsse führen zu unverzinkten Stellen (Fehlstellen).

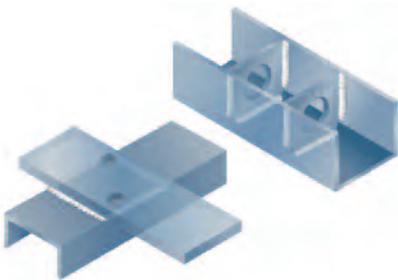


Abb. 15: Große Überlappungsflächen mit Entlastungsöffnungen versehen; Freischnitte in den Ecken vorsehen.

Hohlprofil-Abmessungen [mm]			Mindest-Loch-Ø [mm] bei einer jeweiligen Anzahl der Öffnungen		
			1	2	4
15	15	20 × 10	8	–	–
20	20	30 × 15	10	–	–
30	30	40 × 20	12	10	–
40	40	50 × 30	14	12	–
50	50	60 × 40	16	12	10
60	60	80 × 40	20	12	10
80	80	100 × 60	20	16	12
100	100	120 × 80	25	20	12
120	120	160 × 80	30	25	20
160	160	200 × 120	40	25	20
200	200	260 × 140	50	30	25

Lesebeispiel: Ein Hohlprofil mit einer Abmessung **60 x 40 mm** benötigt an jedem Ende entweder

- mind. **1 Öffnung** mit einem Durchmesser von **16 mm** oder
- mind. **2 Öffnungen** mit einem Durchmesser von **12 mm** oder
- mind. **4 Öffnungen** mit einem Durchmesser von **10 mm**

➔ Tabelle 7: Empfohlene Durchmesser für Entlüftungsbohrungen an Konstruktionen mit einer Länge ≤ 6 m

Öffnungen zum Durchfluss der Vorbehandlungsmittel und des flüssigen Zinks in Hohlkörpern müssen entsprechend der jeweiligen Durchflussmenge ausgeführt werden. Tabelle 7 gibt Hinweise auf die Anzahl und Größe (Mindest-Loch-Durchmesser) der Öffnungen abhängig von den Hohlprofilabmessungen.

11.4.7 Bohrungen/Passungen

Um Stahlteile auch nach dem Feuerverzinken ohne Probleme zusammenfügen oder montieren zu können, ist es erforderlich, so viel Spiel vorzusehen, dass ausreichend Platz für den Zinküberzug im Passungsbereich zur Verfügung steht. Zwar sind Zinküberzüge im Mittel nur etwa 0,1 mm dick, die hohe Oberflächenspannung des schmelzflüssigen Zinks führt aber

stets dazu, dass sich in Bohrungen, Durchbrüchen und ähnlichen Bereichen immer wieder wesentlich mehr Zink ansammelt als auf den ebenen, glatten Flächen. Falls möglich, sollten daher ca. 1 bis 2 mm Montagespiel vorgesehen werden.

11.4.8 Hohlprofile und Hohlbauteile

Das Feuerverzinken bietet die Möglichkeit, Behälter und Rohrkonstruktionen in einem Arbeitsgang innen und außen mit einem Zinküberzug zu überziehen. Dafür müssen die Bauteile so konstruiert sein, dass einerseits beim Eintauchen in das Zinkbad das Zink ungehindert und schnell in das Innere der Stahlprofile eindringen kann (dadurch wird die in den Hohlräumen vorhandene Luft verdrängt) und dass andererseits beim

➔ MFO Park,
Zürich (Architekten:
Planungsgemein-
schaft Burckhardt +
Partner und Rader-
schall Architekten,
Zürich)



Herausziehen das „überflüssige“ Zink restlos auslaufen und die Luft wieder in die Hohlräume einströmen kann (Abb. 16). Es muss demnach bei jedem Einzelprofil ein vollständiger Durchfluss aller Behandlungsmedien gewährleistet sein, der durch fachgerechte Öffnungen sicherzustellen ist.

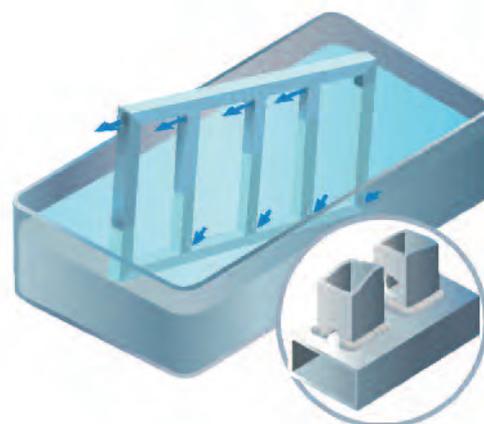
Die erforderlichen Öffnungen sind stets so vorzusehen, dass sie der Art der Aufhängung der Teile in der Verzinkerei (meist schräge Aufhängung) Rechnung tragen. Hierbei ist darauf zu achten, dass die Öffnungen soweit wie möglich in der Ecke eines Bauteils angebracht sind. Zulauf- und Entlüftungsöffnungen sind aus Sicherheitsgründen sichtbar von außen anzubringen, da diese nur so von der Feuerverzinkerei überprüft werden können.

11.5 Schweißen vor dem Feuerverzinken

11.5.1 Vermeidung von Verzug und Rissbildung

Auf eine Stahlkonstruktion wirken im Zusammenhang mit der Feuerverzinkung vielfältige Kräfte ein. Dies sind Spannungen durch thermische Einflüsse beim Feuerverzinken, aber auch Spannungen, die durch den Stahlwerkstoff, die Konstruktion und ihre Fertigung ausgelöst werden. Auch die Zinkschmelze spielt im Hinblick auf Spannungen und Widerstand von

Bauteilen gegenüber angreifenden Kräften eine Rolle. Die Erwärmung der Stahlteile im Zinkbad führt zu einer Längenausdehnung von ca. 4 bis 5 mm pro Meter Bauteillänge. Dies kann zu Zwängungsspannungen führen. Die Streckgrenze des Stahls reduziert sich mit zunehmender Erwärmung des Bauteils. Unter Umständen können die vorhandenen Eigen- und Zwängungsspannungen die temporär verringerte Streckgrenze des Stahls überschreiten; Verzug oder sogar Rissbildung sind dann möglich (Abb. 17). Unter der Einwirkung einer flüssigen Zinkschmelze



➔ Abb. 16:
Möglichkeiten der
Entlüftung von
Rohrkonstruktionen

kann sich dann die Anfälligkeit gegenüber Verzug und auch einer möglichen Rissbildung (Lötbruch) erhöhen. Es ist bekannt, dass für das Feuerverzinken eine feuerverzinkungsgerechte Stahlkonstruktion die Grundvoraussetzung darstellt. Im Hinblick auf die Ausführung der Stahlkonstruktion und zur Vermeidung des Risikos von Verzug und Rissbildung sollten deshalb auch Details beachtet werden:

- Große Kerben und Steifigkeits-sprünge in der Stahlkonstruktion sollten vermieden werden.
- Auf eine spannungsarme Fertigung ist zu achten.
- Dehnungen und Schrumpfungen der Konstruktion sollten konstruktiv möglichst wenig behindert werden.
- Aufhärtungen im Stahl, wie sie z.B. an Brennschnittkanten entstehen können, sind nachteilig. Diese Stellen sind entsprechend nachzuarbeiten.
- Bei der Fertigung von Schweißkonstruktionen sind die entsprechenden Regelwerke (z.B. DAST-Richtlinie 009) zu berücksichtigen. Daraus geht hervor, dass für höhere Beanspruchungen auch qualitativ höherwertige

Stahlwerkstoffe eingesetzt werden müssen.

- Ist im Rahmen der Fertigung eine Kaltumformung vorgesehen, so ist diese gemäß der in DIN EN 10025 angegebenen Grenzwerte auszuführen.

Grundsätzlich lassen sich Schäden an Konstruktionen in Form von Verzug und Rissbildung durch eine vorausschauende Planung, die die Temperatur- und Ausdehnungsverhältnisse während des Verzinkungsvorgangs berücksichtigt, vermeiden. Die DAST-Richtlinie 022 gibt hierzu entsprechende Hinweise und ist für das Feuerverzinken von tragenden Stahlbauteilen verbindlich anzuwenden.

11.5.2 Schweißtechnische Merkmale

Beim Schweißen vor dem Feuerverzinken sind fertigungstechnische Aspekte zu berücksichtigen: Die Schweißnähte müssen sauber hergestellt werden und dürfen keine Poren oder Einbrandkerben aufweisen. So muss darauf geachtet werden, dass keine Schweiß-

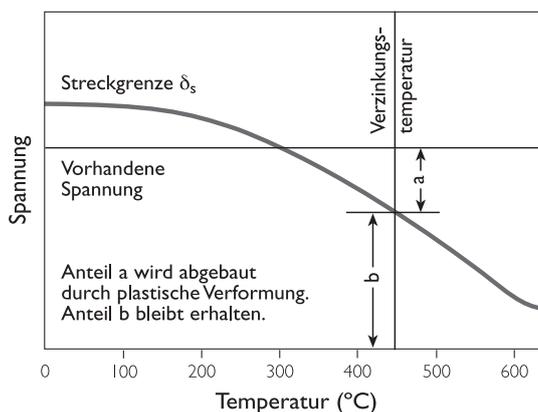


➔ Abb. 18: Aufgewachsener Zinküberzug an blecheben geschliffener Schweißnaht

schlacken auf der Schweißnaht zurückbleiben; diese können zu Verzinkungsfehlern führen, da derartige Rückstände im Zuge der üblichen Vorbehandlung in der Feuerverzinkerei nicht beseitigt werden.

Weicht die chemische Zusammensetzung des Schweißzusatzwerkstoffes erheblich von derjenigen des Grundwerkstoffs ab, können sich deutliche Unterschiede im Aussehen und in der Dicke des Zinküberzugs im Bereich von Schweißnähten ergeben. Vor allem beim Schweißen unter Schutzgas werden heute üblicherweise Schweißdrähte eingesetzt, die einen relativ hohen Siliziumgehalt aufweisen; ungünstige Gehalte an Silizium in der Schweißnaht können jedoch das Ergebnis der Feuerverzinkung beeinflussen. Dies wird vor allem bei blecheben bearbeiteten (geschliffenen) Schweißnähten deutlich erkennbar (Abb. 18). An dieser Stelle baut sich infolge eines hohen Siliziumgehaltes in der Schweißnaht ein erheblich dickerer Zinküberzug auf, der sich optisch deutlich von seiner Umgebung abhebt.

➔ Abb. 17: Schematischer Verlauf der Streckgrenze des Stahls bei Temperaturerhöhung und Darstellung von Spannungsanteilen, die zu Verzug führen können.



Profile sollten möglichst nicht großflächig miteinander verschweißt werden, weil sich hierdurch große Überlappungsflächen und Zwischenräume (Spalte) ergeben, in die das Zink nicht eindringen kann. Zwar verlötet in den meisten Fällen das schmelzflüssige Zink den Überlappungsbereich ringsherum, trotzdem kann man nicht ausschließen, dass z.T. doch kleine Spalte und Poren unverschlossen bleiben.

11.5.3 Auswirkungen von Schweiß-eigenstressungen

Beim Entwurf einer Stahlkonstruktion sollte man sich bemühen, die Spannungen in einer Konstruktion von vornherein möglichst niedrig zu halten, damit der Stahl trotz vorübergehend nachlassender Festigkeit die inneren Spannungen vollständig aufnehmen kann. Grundsätzlich ist festzustellen, dass die Verzugsgefahr bei symmetrisch geschweißten Bauteilen gering ist. Bei unsymmetrisch geschweißten

Profilen ist die Verzugsgefahr größer. Mit Hilfe eines ausgearbeiteten Schweißfolgeplans, der auch bei der Ausführung genau einzuhalten ist, lässt es sich oftmals erreichen, dass die Schweißspannungen gleichmäßig über den Querschnitt verteilt sind und somit der Verzug beim Feuerverzinken vermieden wird bzw. sich auf ein vertretbares Minimum beschränkt.

Die wichtigsten konstruktiven Grundregeln nochmals in Kürze zusammengefasst:

1. Durch konstruktive Maßnahmen ist der schweißtechnische Aufwand auf ein Minimum zu reduzieren, denn je mehr an einer Konstruktion geschweißt werden muss, desto mehr zeigen die durch das Schweißen erzeugten Schrumpfspannungen im Werkstück ihre nachteilige Wirkung.
2. Schweißnähte sind nach Möglichkeit so zu legen, dass sie in der Schwereachse des Profils liegen oder falls dies nicht möglich ist, symmetrisch zur Schwereachse angeordnet sind.
3. Schweißnähte, die die Konstruktion stark versteifen, möglichst erst zum Schluss schweißen.
4. Die Konstruktion „von innen nach außen“ schweißen, damit sich keine hohen Schrumpfspannungen beim Schweißen aufbauen können.

5. Gegebenenfalls einen Schweißfolgeplan erarbeiten, der die zuvor genannten Punkte berücksichtigt.
6. Die allgemeinen Grundregeln der Schweißtechnik zur spannungsarmen Fertigung stets berücksichtigen.

Oft ist es vorteilhaft, zunächst Einzelteile zu verzinken und diese über eine Schraubverbindung zusammensetzen. Nachträgliches Schweißen sollte die Ausnahme darstellen, da dies im Bereich der Schweißnaht den Korrosionsschutz zerstört. Im Falle einer nachträglichen Schweißverbindung ist eine fachgerechte Ausbesserung des Zinküberzugs notwendig.

11.6 Nacharbeit und Ausbessern

Es kann vorkommen, dass der Zinküberzug unverzinkte Stellen, Beschädigungen oder auch unverzinkte Schweißnähte durch Montagearbeiten aufweist, die dann eine Nacharbeit oder eine Ausbesserung des verzinkten Teils erfordern. Kommt es zu Beschädigungen und Fehlstellen, sollte nicht nur das Feuerverzinkungsunternehmen gemäß DIN EN ISO 1461 eine Ausbesserung durchführen, sondern es sollten auch diejenigen Schäden, die außerhalb des Verantwortungsbereiches der Feuerverzinkerei entstanden sind (z.B. beim Transport oder bei der Montage), entsprechend den in der Norm aufgeführten Regeln ausgebessert werden. Die DIN EN ISO 1461 regelt, bis zu welcher maximalen Größe Ausbesserungen zu-



➔ Zinkstaubbeschichtungen sind zur Ausbesserung von Fehlstellen im Zinküberzug geeignet.



lässig sind. Die Summe der Bereiche ohne Überzug darf 0,5% der Gesamtoberfläche eines Einzelteils nicht überschreiten. Ein einzelner Bereich ohne Überzug darf in seiner Größe 10 cm² nicht übersteigen. Falls größere Bereiche ohne Überzug vorliegen, muss das betreffende Bauteil neu verzinkt werden, falls keine anderen Vereinbarungen zwischen Auftraggeber und Feuerverzinkungsunternehmen getroffen werden.

Zur fachgerechten Ausbesserung gehören auch die Reinigung und die Oberflächenvorbereitung der Schadstelle. Dabei ist es wichtig, dass die zu behandelnde Fläche frei von Verschmutzungen und Korrosionsprodukten ist. Es empfiehlt sich daher eine Vorbereitung der Stellen durch partielles maschinelles Schleifen oder durch lokales Strahlen. Die Ausbesserung einer Fehlstelle muss durch eine geeignete Zinkstaubbeschichtung oder durch thermisches Spritzen mit Zink innerhalb der praktikablen Grenzen solcher Systeme erfolgen. Die Verwendung von Loten auf Zinkbasis ist ebenfalls möglich. Zinksprays sind in der Regel ungeeignet. Die Schichtdicke des ausgebesserten Bereiches muss mindestens 100 µm betragen, falls keine anderslautenden Vereinbarungen getroffen wurden, z.B. wenn eine

zusätzliche Beschichtung aufgetragen werden soll. An den ausgebesserten Stellen muss ein hinreichender Korrosionsschutz sichergestellt sein.

11.7 Lagern und Transportieren von feuerverzinktem Stahl

Der dauerhafte Korrosionsschutz einer Feuerverzinkung beruht auf der Bildung schützender Deckschichten, die durch Witterungseinflüsse im Verlauf einiger Wochen oder Monate auf der Oberfläche feuerverzinkter Stahlteile entstehen. Die Deckschichten können sich jedoch nicht ausbilden, wenn die Zinkoberfläche über einen längeren Zeitraum mit Wasser benetzt ist, das keine oder nur sehr wenig mineralische Stoffe enthält, oder wenn der Luftzutritt und damit das Angebot an CO₂ unzureichend ist. In solchen Fällen bildet sich auf der Oberfläche verzinkter Bauteile sogenannter „Weißrost“. Weißrost besteht überwiegend aus Zinkhydroxid, einem geringen Anteil aus Zinkoxid und Zinkcarbonat. Leichte Weißrostbildung tritt auf, wenn Schwitzwasser oder Feuchtigkeit nur kurzzeitig auf frisch verzinkte Oberflächen einwirken kann und danach rasch wieder abtrocknet. Dies ist bei

ausreichendem Luftzutritt und bei nicht andauernder Befeuchtung der Fall. Eine Schädigung tritt hierbei nicht ein, da die normgemäße Dicke des Zinküberzugs in aller Regel erhalten bleibt. Geringe Mengen an Weißrost werden nach Fortfall der weißrostauslösenden Bedingungen in eine das Zink schützende Deckschicht umgewandelt. Diese Form der Weißrostbildung ist zwar weitgehend harmlos, kann jedoch beim Auftragen zusätzlicher Beschichtungen zu Haftproblemen führen. Starke Weißrostbildung tritt bei andauernder und intensiver Befeuchtung auf. Sie kann zu einer Schädigung des Zinküberzugs – bis hin zu seiner lokalen Zerstörung – führen. Eine objektive Aussage über den Umfang einer Schädigung wird über eine visuelle Prüfung hinaus in erster Linie durch Messung der noch vorhandenen Überzugsdicke möglich. Da die Bildung von Weißrost ausschließlich durch Feuchtigkeitseinwirkung und die Lagerungsverhältnisse beeinflusst wird, sollten hier vorbeugende Maßnahmen ergriffen werden. Diese sind im Arbeitsblatt Feuerverzinken E.1 (www.fv.lc/ab-e1) beschrieben.

 Schraubverbindungen sind oft vorteilhaft (Wohnhaus, Langen; Architekten: Schaudt Architekten BDA, Martin Cleffmann, Konstanz)

12 Die wichtigsten Regelwerke

Die wichtigste Norm zum Stückverzinken stellt DIN EN ISO 1461 dar. Von hoher Bedeutung ist ebenfalls die DAST-Richtlinie 022. Neben den nachfolgenden Regelwerken ist das Stückverzinken in weiteren Normen zu Produkten und Verfahren erfasst.

12.1 DIN EN ISO 1461

Das Basis-Regelwerk zum Feuerverzinken ist DIN EN ISO 1461 „Durch Feuerverzinken auf Stahl aufgebraute Zinküberzüge (Stückverzinken) – Anforderungen und Prüfungen“. Die Norm regelt sowohl die Anforderungen an Zinküberzüge (z. B. Dicke des Zinküberzugs, Ausbesserungen), sie legt aber auch Prozeduren fest, mit denen die Anforderungen an die Feuerverzinkung überprüft werden. Die deutsche Fassung der EN ISO 1461 enthält nationale Anhänge, in denen unter anderem auf die verbindliche Anwendung der DAST-Richtlinie 022 verwiesen wird. Details zur DIN EN ISO 1461 enthält das Arbeitsblatt Feuerverzinken F.2 (www.fv.lc/ab-f2)

12.2 DIN EN ISO 14713 – Teil 1 und 2

DIN EN ISO 14713, Teil 1 und 2 „Zinküberzüge – Leitfäden und Empfehlungen zum Schutz von Eisen- und Stahlkonstruktionen vor Korrosion“ ist eine wichtige Ergänzung zur DIN EN ISO 1461. DIN EN ISO 14713 bietet allgemeine Informationen zu Zinküberzügen, wie z. B. zur Korrosionsschutzdauer in unterschiedlichen Anwendungsbereichen. Darüber hinaus ist mit dem Teil 2 eine zu-

sätzliche Norm zum Stückverzinken entstanden, die Informationen wie Einfluss des Grundwerkstoffes oder Grundsätze der feuerverzinkungsgerechten Konstruktion enthält. Details zu DIN EN ISO 14713 enthält das Arbeitsblatt Feuerverzinken F.3 (www.fv.lc/ab-f3).

12.3 DAST-Richtlinie 022

Die DAST-Richtlinie 022 „Feuerverzinken von tragenden Stahlbauteilen“ regelt das Feuerverzinken von tragenden Stahlbauteilen im Bauwesen, die gemäß DIN EN 1993 und DIN EN 1090 bemessen und gefertigt sind. Die Richtlinie ist verbindlich anzuwenden und ergänzt die Normen DIN EN ISO 1461 und DIN EN ISO 14713, Teil 1 und 2. Zu den tragenden Stahlbauteilen gehören auch leichte Konstruktionen wie Treppen, Balkone und Geländer. In der Richtlinie werden übergreifend Aspekte der Planung, Konstruktion, Fertigung und Feuerverzinkung von tragenden Stahlbauteilen beschrieben. Details zur DAST-Richtlinie 022 und zur Ausführung von DAST 022-gerechten Stahlkonstruktionen bieten das Arbeitsblatt Feuerverzinken F.4 (www.fv.lc/ab-f4) sowie www.dast022.de.

12.4 DIN EN 1090

Das Stahlbauregelwerk DIN EN 1090 regelt auch den Korrosionsschutz für Stahlbauten. Hersteller tragender Stahlbauteile, z. B. Stahl- und Metallbau-Unternehmen, werden bei der Auswahl und Beauftragung von nach DAST-Richtlinie 022 zertifizierten Feuerverzinkereien hinsichtlich des Korrosions-

schutzes dem neuen Stahlbauregelwerk DIN EN 1090 gerecht. Eine zusätzliche Zertifizierung von Feuerverzinkereien nach DIN EN 1090-I ist auf freiwilliger Basis grundsätzlich möglich, aber nicht verbindlich erforderlich, um den Anforderungen der DIN EN 1090-I zu entsprechen. Nach DAST-Richtlinie 022 zertifizierte Feuerverzinkereien erfüllen bereits die Anforderungen an den Korrosionsschutz nach DIN EN 1090.

12.5 Feuerverzinkte Verbindungselemente – DIN EN ISO 10684

Diese Norm regelt das Feuerverzinken von Schrauben, Muttern und sinngemäß auch von Unterlegscheiben. Sie legt Werkstoffe, Verfahren sowie Anforderungen an das Feuerverzinken von Verbindungselementen aus Stahl mit Regelgewinde von M8 bis M64 und Festigkeitsklassen bis einschließlich 10.9 für Schrauben und 12 für Muttern fest.

12.6 Feuerverzinkte Installationsrohre – DIN EN 10240

Die DIN EN 10240 „Innere und/oder äußere Schutzüberzüge für Stahlrohre – Festlegungen für durch Schmelztauchverzinken in automatisierten Anlagen hergestellte Überzüge“ gilt für feuerverzinkte Zinküberzüge, die auf Stahlrohre aufgebracht werden. Sie gilt für klassische Installationsrohre für Gas und Wasser (z. B. Sprinkleranlagen) und auch für Anwendungen im Bauwesen wie Hohlprofile für den Stahlbau.



➔ *Electric Fountain, New York*
(Künstler: Sue Webster und Tim Noble; Realisation: Michael Hammers Studios, Wesseling)

12.7 Feuerverzinkter Betonstahl – Allgemeine Bauaufsichtliche Zulassung Z-1.4-165

Für feuerverzinkte Betonstähle gilt die Bauaufsichtliche Zulassung des Deutschen Instituts für Bau-technik (DIBt), Berlin, mit der Zulassungsnummer Z-1.4-165. Feuerverzinkte Betonstähle dürfen 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. Die Zulassung regelt besondere Auflagen, die bei Entwurf und Bemessung, bei der Ausführung und beim Feuerverzinken zu beachten sind. Es sind ausschließlich bauaufsichtlich zugelassene Feuerverzinkereien zum Feuerverzinken von Betonstählen berechtigt. Die Zulassung deckt das Feuerverzinken von Betonstabstahl, Betonstahl in Ringen und Betonstahlmatten ab. Die Zulassung sowie weitere

Informationen stehen unter www.feuerverzinken.com/betonstahl zur Verfügung.

12.8 Hinterlüftete Fassaden gemäß DIN 18516-1

Feuerverzinkte Bauteile, die in einer hinterlüfteten Gebäudefassade eingesetzt werden, sind in DIN 18516-1 „Außenwandbekleidungen, hinterlüftet – Teil 1: Anforderungen, Prüfgrundsätze“ geregelt. Entsprechend der Norm können die Tragprofile der Unterkonstruktion, die Bekleidungs-elemente, die Wandhalter, die Verbindungselemente mit Fest- oder Gleitpunkt sowie die Befestigungselemente feuerverzinkt ausgeführt werden. Die Feuerverzinkung ist gemäß DIN EN ISO 1461 in Verbindung mit DASt-Richtlinie 022 auszuführen. Feuerverzinkte Verbindungs- und Befestigungselemente müssen gemäß DIN EN ISO 10684 feuerverzinkt sein.

Mehr Informationen zu Fassaden aus feuerverzinktem Stahl unter www.fv.lc/fassade

12.9 Feuerverzinkte Stahl- und Verbundbrücken

Stahl- und Verbundbrücken dürfen seit kurzem auch in Deutschland feuerverzinkt werden. Wissenschaftliche Untersuchungen ergaben nämlich, dass die Feuerverzinkung eine Korrosionsschutzdauer von 100 Jahren ohne Wartung erreicht und 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. Über eine Zustimmung im Einzelfall können feuerverzinkte Stahl- und Verbundbrücken problemlos baurechtlich zugelassen werden. Weitere Infos bietet eine Broschüre mit Arbeitshilfe, die unter www.feuerverzinken.com/bruecken bestellt werden kann.

12.10 Arbeitsblätter Feuerverzinken

Die Arbeitsblätter Feuerverzinken bieten detaillierte Fachinformationen zur Planung und Ausführung feuerverzinkter Konstruktionen. Sie richten sich an Stahl- und Metallbauer sowie Ingenieure und Architekten und sind als App für Apple- und Android-Geräte sowie als PC-Online-Version verfügbar unter www.fv.lc.



Weitere Informationen zum Feuerverzinken erhalten Sie beim Institut Feuerverzinken GmbH,
Postfach 14 04 51, 40074 Düsseldorf, Telefon (02 11) 69 07 65-0, Telefax (02 11) 69 07 65-28,
E-Mail: info@feuerverzinken.com, Internet: www.feuverzinken.com