



## SMU-Merkblatt TK 003

Korrosionsschutz von Stahlbauteilen  
Feuerverzinkungsgerechtes Konstruieren

### Schweizerische Metall-Union

Fachverband Metallbau, Seestrasse 105, Postfach, 8027 Zürich  
Tel. 044 285 77 77, Fax 044 285 77 78, info@smu.ch, www.smu.ch

## Inhaltsverzeichnis

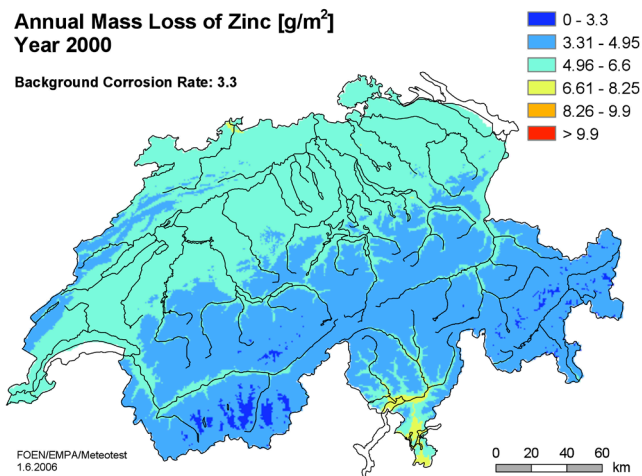
Kap	Bezeichnung
	Einleitung
1.	Feuerverzinken
2.	Voraussetzung
3.	Werkstoff
3.1	Bestellhinweise
3.2	Andere Stähle
4.	Feuerverzinkungsgerechte Konstruktion
4.1	Badabmessungen, Stückgewichte
4.2	Sperrige Teile
4.3	Mehrfachtauchungen
4.4	Aufhängungen
4.5	Werkstoffdicken
4.6	Rohr-Konstruktionen
5.	Feuerverzinkungsgerechte Fertigung
5.1	Überlappungen
5.2	Eigenspannung und Verzug
5.3	Schweissen vor dem Feuerverzinken
5.3.1	Zusätzliche Aspekte
6.	Oberflächenvorbereitung
7.	Generelle Bemerkung

## Einleitung

Feuerverzinken ist das weitaus gebräuchlichste Verfahren, um Stahl-Erzeugnisse und Stahl-Bauteile mit einem metallischen Überzug gegen Korrosion zu schützen. Es wird eingesetzt, wenn ein dauerhafter Korrosionsschutz für Jahrzehnte erzielt werden soll. Die Korrosionsschutzdauer steht in Abhängigkeit mit dem Standort, an welchem die Konstruktion montiert wird. In der Schweiz sind ca. 95% der Landfläche der Korrosivitätskategorie C2 und C3 zuzuordnen (siehe Abb. 1 und 2). Bei einer Konstruktion mit einer Zinkschichtdicke von 85 µm, an einem Standort der Kategorie C3 (städtisch, Industrie) kann mit einer Lebensdauer von ca. 50 Jahren gerechnet werden. Durchschnittlich kann heute von einer Korrosionsrate des Zinks von ca. 0,5 – 1,5 µm pro Jahr ausgegangen werden.

### Annual Mass Loss of Zinc [g/m<sup>2</sup>] Year 2000

Background Corrosion Rate: 3.3



Korrosivitätskategorien/Klimaklassen Standortabhängige Zink-Abtragsraten pro Jahr			
Korrosivitäts- klasse	Atmosphärentyp	Korrosions- belastung	durchschnittlicher Zink-Abtrag pro Jahr
C 1	Innen, trocken	unbedeutend	< 0,1 µm
C 2	Innen: gelegentliche Kondensatbildung Aussen: Landatmosphäre	gering	0,1 bis 0,7 µm
C 3	Innen: hohe Feuchtigkeit, mittlere Luftbelastung Aussen: Industrie- oder Stadt- atmosphäre bzw. Küstenklima mit geringem Chloridgehalt	mittel	0,7 bis 2,1 µm
C 4	Innen: Schwimmbäder, Chemieanlagen Aussen: Industrieatmosphäre, Küstenklima mit mittlerem Chloridgehalt	hoch	2,1 bis 4,2 µm
C 5-1	Gebäude oder Bereiche mit nahezu ständiger Kondensation und mit starker Verunreinigung	sehr hoch	4,2 bis 8,4 µm

## 1. Feuerverzinken

Beim Feuerverzinken werden Eisen- und Stahlteile durch Eintauchen in eine Zinkschmelze mit einem Zinküberzug versehen und während des Tauchvorganges auf die Zinkbadtemperatur von ca. 450°C erwärmt. Dabei bilden sich auf der Oberfläche durch wechselseitige Diffusion Eisen-Zink-Legierungsschichten. Beim Herausziehen der Stahlteile aus dem Zinkbad überziehen sich diese Legierungsschichten in der Regel mit einer Reinzinkschicht. Dadurch entsteht normalerweise ein silbrig glänzender Überzug, teilweise mit einem ausgeprägten Zinkblumenmuster. Die Zinkschmelze muss gemäss EN ISO 1461 hauptsächlich aus Zink bestehen. Die Summe der Begleitelemente (gemäss ISO 752 oder EN 1179) in der Zinkschmelze darf 1,5 Massen-% nicht übersteigen.

## 2. Voraussetzungen

Diskontinuierliches Feuerverzinken – das Stückverzinken – ist das Aufbringen eines Zinküberzuges auf Stahl oder Gussteile durch Eintauchen der vorbereiteten Werkstücke in geschmolzenes Zink. Unabdingbare Voraussetzung für ein einwandfreies Verzinkungsergebnis sind u.a. folgende Parameter:

- Auswahl geeigneter Werkstoffe
- Feuerverzinkungsgerechte Konstruktion und Fertigung
- Berücksichtigung der maximalen Abmessung
- Einhaltung der maximalen Transportgewichte
- Berücksichtigung des Oberflächenzustandes

## 3. Werkstoff

Grundsätzlich lassen sich alle gängigen Baustahlorten und Gusseisenarten feuerverzinken. Es kann jedoch insbesondere bei Stählen mit einem kritischen Silizium-Gehalt vorkommen, dass die Reaktion zwischen Eisen und Zink während des Verzinkungsvorganges besonders rasch abläuft und deshalb der Anteil der Eisen-Zink-Legierungsschichten im Zinküberzug grösser als normal ist. Im Extremfall kann der gesamte Zinküberzug aus Eisen-Zink-Legierungsschichten bestehen (Abb. 4), was zwar keinen Einfluss auf die Korrosionsbeständigkeit, jedoch auf den ästhetischen Gesichtspunkt hat. Solche

Zinküberzüge haben eine mattgraue, und oft auch etwas rauere, Oberfläche. Die Verwendung unterschiedlicher Stahlwerkstoffe kann aufgrund der Unterschiede in der chemischen Zusammensetzung und die damit verbundene unterschiedliche Eisen-Zink-Reaktion zu einem unterschiedlichen Erscheinungsbild der Feuerverzinkung innerhalb eines Bauteils führen. Gleiches gilt auch, wenn innerhalb einer Stahlkonstruktion aus normalem Baustahl einzelne Elemente aus Guss, nichtrostendem Stahl oder anderen Metallen mit verarbeitet wurden. Unter Umständen kann bei derartigen Werkstoffen der Zinküberzug fehlerhaft sein, oder es kann überhaupt kein Zink anlegieren.

In solchen Fällen ist stets eine vorherige Abstimmung mit der Verzinkerei erforderlich.

### 3.1 Bestellhinweise

Die Feuerverzinkerei hat kaum eine Möglichkeit, das durch die Stahlzusammensetzung bedingte extreme Wachstum der Eisen-Zink-Legierungsschichten zu beeinflussen. Aus diesem Grunde kommt der Auswahl von Stählen, die für das Feuerverzinken gut geeignet sind, eine besondere Bedeutung zu. Die Normenreihe DIN EN 10025 1–6, 2005 (Warmgewalzte Erzeugnisse aus Baustählen), empfiehlt zu den in den Teilen 2,3,4 und 6 unter Abschnitt 7.4.3 «Eignung zum Schmelztauchverzinken: Anforderungen bezüglich Schmelztauchverzinken müssen zwischen Hersteller und Besteller vereinbart werden».

Liegen im Einzelfall keine Hinweise über die Stahlzusammensetzung vor oder bestehen Zweifel über die Eignung eines Werkstoffes, empfiehlt es sich, anhand eines kleinen Materialabschnittes

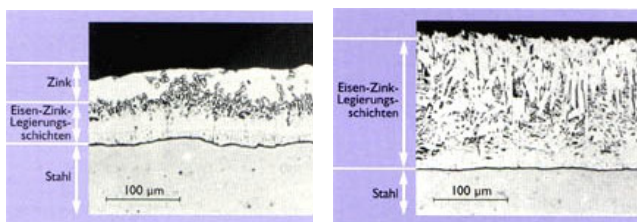


Abb.3: Schliffbild eines feuerverzinkten  
Abb. 4: Schliffbild feuerverzinkten Stahls  
Stahls mit typischem Schichtaufbau  
mit durchgewachsener Fe+Zn-Legierungsschicht

eine Probeverzinkung durchzuführen. Aussagefähige Ergebnisse können mit einer Probeverzinkung jedoch nur dann erzielt werden, wenn unter ähnlichen Bedingungen verzinkt wird wie bei den späteren Originalteilen. Die Einhaltung praxisgerechter Bedingungen gilt besonders im Hinblick auf die Tauchdauer, die Ein- und Auszugsgeschwindigkeit beim Tauchprozess sowie allenfalls auch die Zinkbadtemperatur.

### 3.2 Andere Stähle

Die vorstehenden Aussagen gelten primär für Stähle im Rahmen der EN 10025, Teile 2–4. Sollen Stähle ausserhalb dieser Normen feuer-

verzinkt werden, sind unter Umständen besondere Abstimmungen mit der Feuerverzinkerei erforderlich. Das gilt besonders für hochfeste Werkstoffe (z.B. hochfeste, vergütete oder thermomechanisch behandelte Feinkornbaustähle). Hierüber muss die Verzinkerei bei der Auftragserteilung unbedingt schriftlich informiert werden.

## 4. Feuerverzinkungsgerechte Konstruktion

Das Feuerverzinken ist ein Tauchverfahren, welches in verschiedenen Bädern durchgeführt wird. Der Transport und das Handling von Verzinkungsgut gehören damit automatisch zum Verfahrensablauf dazu. Somit haben auch Grösse, Form und Gewicht eines zu verzinkenden Bauteils einen wesentlichen Einfluss auf die Kosten.

### 4.1 Badabmessungen, Stückgewichte

Die Verzinkungsbäder in den einzelnen Betrieben haben unterschiedliche Grössen. Bei den maximalen Abmessungen der zu verzinkenden Teile sind diese Masse der zur Verfügung stehenden Verzinkungsbäder zu berücksichtigen. Man sollte sich stets bemühen, einen Verzinkungskessel zu finden, in dem ein Bauteil mit seinen Abmessungen optimal (am Besten ist in einem Tauchgang) verzinkt werden kann. Die zur Verfügung stehende Grösse des Verzinkungsbades sollte bereits bei Festlegung der Konstruktion und ihrer Details bekannt sein. Bei Grosskonstruktionen lassen sich dadurch Schwierigkeiten vermeiden und mitunter noch Schweiss- oder Schraubstösse anordnen.

Es ist auf jeden Fall erforderlich, sowohl die maximalen Abmessungen der Einzelteile als auch deren maximales Gewicht, welches durch die Leistungsfähigkeit der Hebezeuge und Fahrzeuge eingeschränkt werden kann, mit der Feuerverzinkerei frühzeitig abzustimmen.

### 4.2 Sperrige Teile

Um das Feuerverzinken möglichst schnell und damit rationell und in guter Qualität durchführen zu können, sollten Stahlteile, die feuerverzinkt werden, nicht sperrig sein. Sperrige Teile können bereits beim Transport Schwierigkeiten bereiten und unter Umständen beschädigt werden. Spätestens beim Feuerverzinken erfordern sie jedoch einen wesentlich höheren Arbeitsaufwand als nicht sperrige Teile. Da die Kosten beim Feuerverzinken unter anderem von der optimalen Beladung der Gestelle und Traversen abhängig sind, verursachen ungünstige, sperrige Konstruktionen auch zwangsläufig erhöhte Kosten.

Die Konstruktion sollte daher möglichst glatt und ebenflächig (zweidimensional) geplant sein, auch auf die Gefahr hin, dass dadurch der spätere Montage- oder Zusammenbauaufwand steigt (Abb. 5). Derartige Stahlteile lassen sich einfacher und rationeller transportieren und ebenso kostengünstiger und qualitativ besser Feuerverzinken.

### 4.3 Mehrfachtauchungen

Durch zweimaliges oder mehrfaches Tauchen einzelner Bereiche kann erreicht werden, dass auch über grosse Stahlteile, deren Feuerverzinkung in einem Arbeitsgang nicht möglich ist, einen Zinküberzug erhalten. Durch dieses mehrfache Tauchen der Stahlteile ergibt sich jedoch eine ungleichmässige Erwärmung der Bauteile, die unter ungünstigen Bedingungen einen Verzug der Stahlteile zur Folge haben. Bis zum Erreichen der Zinkbadtemperatur dehnt sich ein Stahlteil um 4–8 mm je Laufmeter Bauteillänge. Unterschiedliche Erwärmung ist bei mehrfachem Tauchen unvermeidlich, da sich stets ein Teil der Konstruktion in der ca. 450 °C heissen Zinkschmelze, der andere Teil sich hingegen an der kühleren Luft (Raumtemperatur) befindet. Dies hat logischerweise auch eine unterschiedliche Ausdehnung der Ober- bzw. Unterseite eines Bauteils zur Folge.

Das Feuerverzinken von langen, schlanken Stahlteilen (z.B. Profileisen, Träger, Stützen, Masten) ist relativ problemlos, da sich nur geringfügige Unterschiede in der Wärmedehnung der Ober bzw. Unterseite eines Bauteils einstellen (Abb. 6). Komplizierter wird es, wenn das Stahlteil eine grosse Höhe besitzt und aus diesem Grund beim Feuerverzinken gedreht werden muss. Ist eine solche Konstruktion relativ nachgiebig, kann sie der unterschiedlichen Längenausdehnung leicht nachgeben, und die Längendifferenz zwischen Ober- und Unterseite wird über einen längeren Weg abgebaut (Abb. 7). Ist das Stahlteil hingegen sehr massiv gebaut und versteift, kann es in ungünstigen Fällen als Folge der hohen Verformungskräfte, die nicht ausgeglichen werden können, zu Verzug oder gar Rissbildung kommen. Hier kommt es besonders auf die konstruktive Ausbildung des Gesamtsystems und der Details (Anschlüsse, Querschnittausbildung) an, damit das Mehrfachtauchen komplizierter Konstruktionen funktioniert (Abb. 8).

Der beim mehrfachen Tauchen von Grosskonstruktionen im Zinkbad zwangsläufig entstehende Überlappungsbereich, der mehrfach dem Einfluss der Zinkschmelze ausgesetzt war, kann sich durch eine grössere Dicke des Zinküberzuges und/oder durch ein anderes Aussehen von den übrigen Oberflächenbereichen unterscheiden.

### 4.4 Aufhängungen

Die Aufhängung von Stahlteilen sollte stets an solchen Stellen möglich sein, die gewährleisten, dass das flüssige Zink beim Herausziehen der Stahlteile aus dem Zinkbad problemlos ablaufen kann. Aus diesem Grunde sollten die Aufhängepunkte auch die gegebenenfalls vorhandene Anordnung der Zinkeinlauf- und Entlüftungsöffnungen berücksichtigen (Abb. 9).

Bei hohen Stückgewichten, sehr grossen oder auch nachgiebigen Stahlkonstruktionen sollte genau festgelegt sein, wo die Stahlteile aufgehängt werden können, ohne sie zu beschädigen. Bei Grosskonstruktionen muss die Tragfähigkeit derartiger Aufhängepunkte gegebenenfalls berechnet werden. Derartige Aufhängungen erleichtern den Transport, die Montage und das Handling in der Feuerverzinkerei.

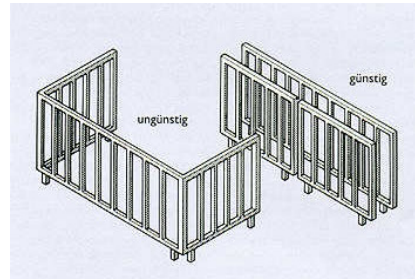


Abb. 5: Sperrige Teile vermeiden, sie verteuern das Verzinken und können die Verzinkungsqualität nachteilig beeinflussen

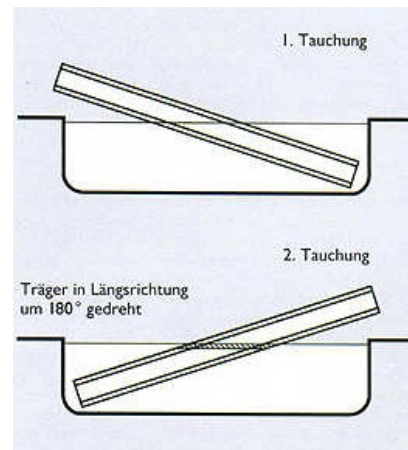


Abb. 6: Feuerverzinken von überlangen Teilen in 2 Teilschritten

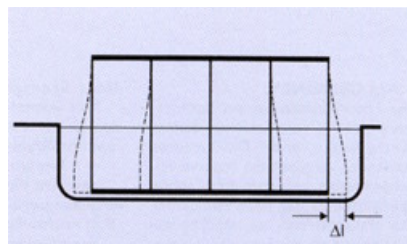


Abb. 7 Günstig (Wärmeausdehnung kann über einen langen Weg ausgeglichen werden)

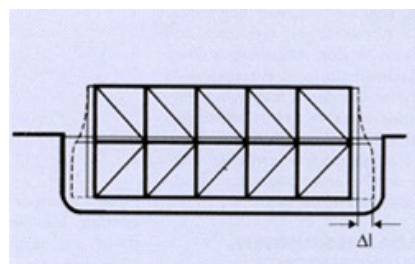


Abb. 8: Ungünstig - Rahmen mit Versteifung (Wärmedehnung kann nur über einen kurzen Weg ausgeglichen werden)

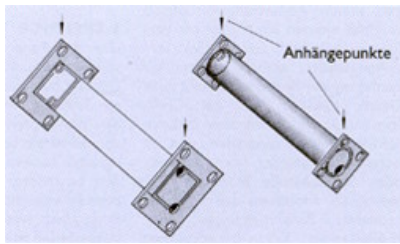


Abb. 9: Auf günstige und sichere Aufhängemöglichkeit achten

## 4.5 Werkstoffdicken

Grosse Werkstoffdicken bewirken aufgrund längerer Durchwärmzeiten und damit längerer Tauchzeiten beim Feuerverzinken auch grössere Dicken des Zinküberzuges – sowohl auf dem dickwandigen Stahlteil selbst als auch auf den damit verbundenen dünneren Stahlteilen, denn letztendlich entscheidet immer das Element mit der grössten Werkstoffdicke über die Tauchzeit des Bauteils im Zinkbad.

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 Werkstoffdicke zu minimaler Werkstoffdicke möglichst  $< 5$  mm ist. Bei sehr ungünstigen Dickenverhältnissen sollte über eine lösbare Verbindung (z.B. Schraubverbindung) der einzelnen Elemente nachgedacht werden.

## 4.6 Rohr-Konstruktionen

Die beim Feuerverzinken durchzuführenden Arbeitsgänge, wie z.B. Entfetten, Beizen, Spülen, Fluxen und das Feuerverzinken selbst, sind Tauchvorgänge. Aus diesem Grund muss dafür gesorgt werden, dass das jeweilige Behandlungsmedium in alle Ecken und Winkel einer Konstruktion – auch in die Hohlräume – problemlos eindringen und auch wieder abfließen kann.

Das Feuerverzinken bietet die Möglichkeit, Behälter und Rohrkonstruktionen in einem Arbeitsgang innen und aussen mit einem Zinküberzug zu überziehen. Dafür müssen die Bauteile jedoch so konstruiert sein, dass beim Eintauchen in das Zinkbad einerseits 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 Herausziehen das «überflüssige» Zink restlos auslaufen und die Luft wieder in die Hohlräume einströmen kann. Werden beim Feuerverzinken von Hohlkörpern Luft und Feuchtigkeit eingeschlossen, können gefährliche Überdrücke und Explosionen im Zinkbad die Folge sein. Verdampfen der Feuchtigkeit kann bei der Erhitzung auf  $450^{\circ}\text{C}$  zu einem hohen Überdruck und damit sogar zur explosionsartigen Zerstörung von Bauteilen führen (Abb. 10). Darüber hinaus können solche Umstände zu schwerwiegenden Arbeitsunfällen führen.

Richtig angeordnete und ausreichend dimensionierte Zu- und Abflussöffnungen sind ein wesentlicher Beitrag zu einer rationellen

Verzinkung und einer guten Verzinkungsqualität. Die erforderlichen Öffnungen sind stets so anzubringen, dass sie der Art der Aufhängung der Teile in der Verzinkerei (meist schräge Aufhängung) Rechnung tragen (Beispiel s. Abb. 11). Hierbei ist darauf zu achten, dass die Öffnungen soweit wie möglich in der Ecke eines Bauteils angebracht sind. Üblicherweise werden die Bohrungen nachträglich von aussen angebracht. Unter Umständen kann es aber auch sinnvoll sein, die erforderlichen Bohrungen bereits vor dem Zusammenbau anzubringen und sie so zu platzieren, dass sie später verdeckt und somit nicht mehr sichtbar sind. In solchen Fällen ist die Verzinkerei aber zwingend schriftlich über verdeckt gebohrte Löcher zu informieren (Sicherheits- und Haftungsfragen im Schadenfall beachten).

Die Grösse der Bohrungen ist abhängig vom jeweiligen Luftvolumen, welche die Öffnungen passieren muss. Also sind sie abhängig von der Länge und dem Querschnitt der verarbeiteten Stahlprofile. Als Orientierung sollten die Werte der Abb. 12 berücksichtigt werden.



Abb. 10: Konstruktion aus Rechteckhohlprofilen, die im Zinkbad als Folge fehlender Bohrungen auseinander gerissen wurde

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 an den Ecken und Winkeln einer Konstruktion ein- und auslaufen kann. Andernfalls wird Zink mit ausgeschleppt oder Lufteinschlüsse führen zu Verzinkungsfehlern.

Freischnitte und Durchflussöffnungen sollten möglichst paarweise angeordnet werden. Freischnitte können, wie in Abb.13 am Beispiel der Aussteifungen für U-Profile dargestellt, ausgeführt werden. Freischnitte an Stegblechen und Lamellen sind analog auszuführen. Öffnungen zum Durchfluss der Vorbehandlungsmittel und des flüssigen Zinks sind grundsätzlich mit einem Durchmesser  $> 10$  mm auszuführen. Im Regelfall sollten bei Stahlbau-Konstruktionen, in Abhängigkeit von ihrer Grösse und der Anzahl vorhandener Öffnungen, deren Durchmesser stets  $> 14$  mm betragen.

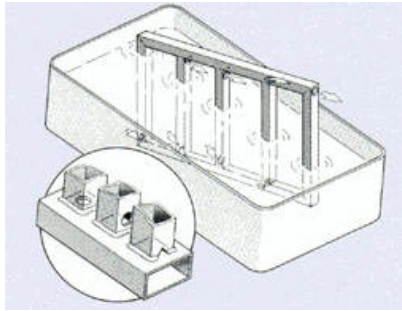


Abb. 11: Verschiedene Möglichkeiten für die Entlüftung von Rohrkonstruktionen

Hohlprofil-Abmessungen in mm:			Mindest-Loch-Ø in mm bei einer jeweiligen Anzahl der Öffnungen von:		
			1	2	4
kleiner als:					
15	15	20 x 10	8		
20	20	30 x 15	10		
30	30	40 x 20	12	10	
40	40	50 x 30	14	12	
50	50	60 x 40	16	12	10
60	60	80 x 40	20	12	10
80	80	100 x 60	20	16	12
100	100	120 x 80	25	20	12
120	120	160 x 80	30	25	20
160	160	200 x 120	40	25	20
200	200	260 x 140	50	30	25

Abb. 12: Empfohlene Durchmesser für Entlüftungsböhrungen an Hohlprofilen\*

\*Die Mindestgrößen in der oben stehenden Tabelle gelten für mittelgroße Konstruktionen bis zu einer Länge von ca. 6 m. Bei langen Profilen sind die Grösse bzw. die Anzahl der Löcher zu erhöhen.

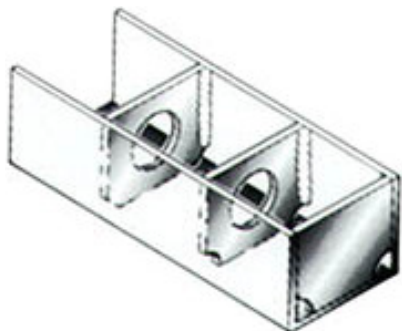


Abb. 13: Freischnitte in den Ecken sind zum vollständigen Ein- und Auslaufen des Zinkes erforderlich

## 5. Feuerverzinkungsgerechte Fertigung

### 5.1 Überlappungen

Überlappungsflächen sind aus Gründen des Korrosionsschutzes nach Möglichkeit zu vermeiden (Abb. 14). In die entstehenden Spalten kann Flüssigkeit aus den Vorbehandlungsbädern eindringen, die beim Tauchen in die Zinkschmelze explosionsartig verdampft. Werden grossflächige Überlappungen erforderlich, sollten Entlastungsbohrungen mindestens auf einer Seite des

überlappenden Bleches angeordnet werden, um zu verhindern, dass durch Erwärmung der Luft im Spalt ein Überdruck entsteht (Abb. 15).

Zusätzlich ergeben grosse Überlappungsflächen Zwischenräume und Spalten, 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. kleine Spalten und Poren unverschlossen bleiben; später kommt es an solchen Stellen (durch austretende Säure- und Flussmittelresten) zu unschönen rostbraunen Verfärbungen.

Kleinflächige Überlappungen sind ringsum dicht zu verschweissen.

### 5.2 Eigenspannung und Verzug

Hohe Eigenspannungen können als Folge der Erwärmung während des Verzinkungsvorganges einen Verzug von Konstruktionen aus Stahl auslösen. Eigenspannungen können in jeder Konstruktion vorhanden sein, z.B. in Form von Walz-, Verformungs-, Schweiss, Richtspannungen usw. Diese Eigenspannungen stehen miteinander im Gleichgewicht und bewirken zunächst keine Verformung. Durch das Einbringen von Wärme z.B. im Zinkbad bei ca. 450°C, wird dieses Gleichgewicht im Allgemeinen gestört. Verformungen können dann die Folge sein.

Liegen die Eigenspannungen in einer Konstruktion sehr hoch, so kann es vorkommen, dass die nachlassende Festigkeit des Stahls nicht mehr ausreicht, sämtliche Spannungen aufzunehmen. Spannungsspitzen können sich dann durch plastische Formänderung (Verzug) abbauen. Man sollte sich daher bemühen, die Spannungen in einer Konstruktion von vornherein möglichst gering zu halten, damit der Stahl trotz vorübergehend nachlassender Festigkeit die inneren Spannungen vollständig aufnehmen kann.

Beim Schweissen bringt man konzentriert und örtlich begrenzt eine beträchtliche Wärmemenge ein. Dieses örtliche Erwärmen und das nachfolgende Abkühlen rufen eine Reihe von Wechselwirkungen hervor, deren Auswirkung mehr oder weniger grosse Schrumpfspannungen sind.

### 5.3 Schweissen vor dem Feuerverzinken

Der Gefahr eines Verzuges an Stahlkonstruktionen kann man durch konstruktive Massnahmen weitgehend begegnen, mit denen man auch einen Verzug beim Schweissen in Grenzen hält. Grundsätzlich lässt sich feststellen, dass Eigenspannungen als Folge des Schweisens die grösste Rolle beim Entstehen von Verzug spielen. Die wichtigsten beim Schweissen zu beachtenden Massnahmen dienen daher auch dazu, Eigenspannungen in Schweisskonstruktionen niedrig zu halten. Mit Hilfe eines sorgfältig ausgearbeiteten Schweissfolgeplans, der bei der Ausführung auch 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.

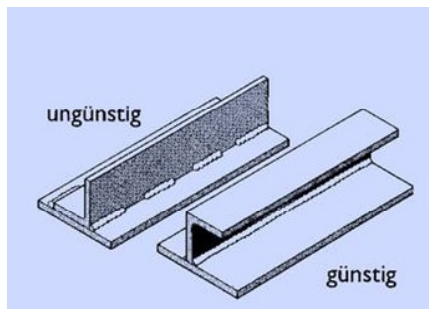


Abb. 14: Grossflächige Überlappungen bei Schweißkonstruktionen möglichst vermeiden

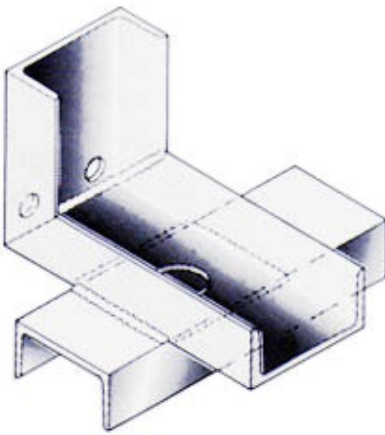


Abb. 15: Überlappungsflächen ggf. mit Entlastungsöffnung versehen

Im Bereich der üblichen Feuerverzinkungstemperatur (ca. 450 °C) haben herkömmliche Baustähle vorübergehend nur noch etwa die Hälfte ihrer normalen Festigkeit, die sie bei Raumtemperatur aufweisen, da mit zunehmender Temperatur die Festigkeit des Stahls abfällt. (Abb. 16). Man sollte sich also von vornherein bemühen, die Spannungen in einer Stahlkonstruktion möglichst niedrig zu halten und Spannungsspitzen zu vermeiden, damit der Stahl trotz vorübergehend nachlassender Festigkeit während des Verzinkungsvorganges in der Lage ist, die inneren Spannungen vollständig aufzunehmen, ohne zu plastifizieren.

Die verbindenden Schweißnähte sind so anzuordnen, dass sie in der Nähe der Schwerachse des gesamten Profils liegen. Wenn das nicht machbar ist, sollten sie möglichst symmetrisch in gleichem Abstand zur Schwerachse liegen und möglichst auch gleichzeitig ausgeführt werden. Bei symmetrischen Querschnitten und der kleinst möglichen Dimensionierung der Schweißnähte ist die Verzugsgefahr am geringsten. Unsymmetrische Profilquerschnitte weisen eine grössere Verzugsgefahr besonders dann auf, wenn einseitig dickere Schweißnähte in grösserem Abstand zur Schwerachse angeordnet sind. Schon bei der Werkstattfertigung lassen derartig ungünstige Bauteile oftmals einen Verzug nach dem Schweißen erkennen. (Abb. 17).

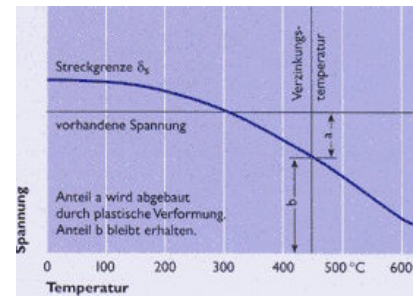


Abb. 16: Verlauf der Streckgrenze von Stahl in Abhängigkeit von seiner Temperatur

Bei Blechkonstruktionen ist darauf zu achten, dass die Ausdehnung der Blechteile, die als Folge der Erwärmung auf die Temperatur der Zinkschmelze stattfindet, nicht behindert wird. Gleichzeitig muss durch konstruktive Massnahmen dafür gesorgt werden, dass glatte Blechflächen versteift werden (zum Beispiel durch Sicken oder Abkantungen), um so der Bildung von Beulen oder Verwerfungen entgegenzuwirken. Dass bei sorgfältiger Vorplanung selbst ein Feuerverzinken von komplizierten, dünnwandigen Blechkonstruktionen ohne nennenswerten Verzug möglich ist, zeigt sich in der Automobiltechnik, in der in einigen Fällen stückverzinkte Blechkonstruktionen als Chassis eingesetzt werden.

#### Die wichtigsten konstruktiven Grundregeln in Kürze:

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 dieses nicht möglich ist, symmetrisch zur Schwereachse angeordnet sind
3. Schweißnähte, welche 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

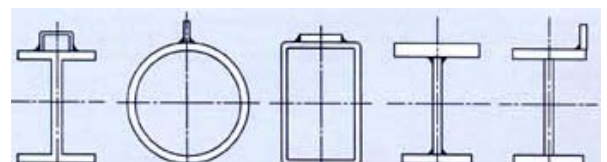


Abb. 17: Aussermittlung angeordnete Schweißnähte an Profilen, die zum Verzug der Stahlteile beim Feuerverzinken führen können

### 5.3.1 Zusätzliche Aspekte

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 zum Beispiel darauf geachtet werden, dass keine Schweisschlacken auf der Schweissnaht zurückbleiben; diese können zu Verzinkungsfehlern führen, da derartige Rückstände im Zuge der üblichen Vorbehandlung in der Feuerverzinkerei nicht beseitigt werden (Abb. 18). Auch Trennmittel-Sprays, die häufig beim Schutzgasschweißen verwendet werden, um das Anbrennen von Schweissprützern zu verhindern, können das Verzinkungsergebnis negativ beeinträchtigen. Sie legen einen kaum sichtbaren Film auf die Stahloberfläche, der beim Vorbehandeln ebenfalls nicht entfernt wird und nun seinerseits zu Fehlstellen beim Feuerverzinken führt. Deshalb sollte man zwingend darauf achten, nur fett- und silikonfreie Produkte zu verwenden und diese auch nur sehr sparsam aufzutragen.

Weicht die chemische Zusammensetzung des Schweisszusatzwerkstoffes erheblich von derjenigen des Grundwerkstoffes ab, können sich deutliche Unterschiede im Aussehen und in der Dicke des Zinküberzuges im Bereich von Schweissnähten ergeben. Vor allen Dingen beim Schweißen unter Schutzgas werden heute üblicherweise Schweissdrähte eingesetzt, die einen relativ hohen Silizium-Gehalt aufweisen; kritische Gehalte an Silizium in der Schweissnaht können jedoch das Feuerverzinkungsergebnis beeinflussen. Dieses wird insbesondere bei blechen bearbeiteten (geschliffenen) Schweissnähten deutlich erkennbar, bei denen sich als Folge eines hohen Silizium-Gehaltes in der Schweissnaht an dieser Stelle ein erheblich dickerer Zinküberzug aufgebaut hat, der sich optisch deutlich von seiner Umgebung abhebt.

Hat sich ein Stahlteil bereits beim Schweißen verzogen, so ist ein Richten vor dem Feuerverzinken sowohl mittels Flamme (Warmrichten) als auch durch hydraulisches Pressen (Kaltrichten) möglich. Allerdings empfiehlt es sich aus Kostengründen, derartige Richtarbeiten nicht mit sehr hohem Aufwand und übertriebener Präzision durchzuführen, da unter Umständen damit gerechnet werden muss, dass während des Verzinkungsvorganges erneut Verzug auftritt.

Profile sollten möglichst nicht grossflächig miteinander verschweisst werden weil sich hierdurch grosse Überlappungsflächen und Zwischenräume (Spalte) ergeben in die das Zink nicht eindringen kann (Abb. 14). Zwar verlötet in den meisten Fällen das schmelzflüssige Zink den Überlappungsbereich ringsherum, trotzdem kann man nicht ausschliessen, dass z. T. doch kleine Spalten und Poren unverschlossen bleiben; später kommt es an solchen Stellen (durch austretende Säure- und Flussmittelresten) zu unschönen rostbraunen Verfärbungen.

Das Merkblatt ist eine Orientierungshilfe über den heutigen Stand der Technik. Es vermittelt Wissen und Erfahrung und dient als Verständigungshilfe für die Beteiligten. Die Schweizerische Metall-Union haftet nicht für Schäden, die durch die Anwendung der vorliegenden Publikation entstehen können. © Copyright bei VST



Abb. 18: Fehlstellen im Zinküberzug durch nicht entfernte Schweisschlacken

## 6. Oberflächenvorbereitung

Auf den Oberflächen der zu verzinkenden Teile dürfen keine «artfremden» Verunreinigungen vorhanden sein. Darunter versteht man Reste von Farbbeschichtungen, Rückstände von Schweisschlacken, Signierungen, Fertigungshilfsmitteln usw. Die zum Feuerverzinken angelieferten Stahlteile sollten auch möglichst frei von Ölen und Fetten sein, da diese von der Beizsäure nur schwer oder überhaupt nicht gelöst werden können. Eine absolut blanke Oberfläche ist jedoch eine unabdingbare Voraussetzung für eine tadellose Verzinkung.

Zu den arteigenen Verunreinigungen gehören Rost und Zunder, die durch Oxidation der Stahloberfläche entstehen. Im Rahmen der Vorbehandlung des Verzinkungsgutes in der Verzinkerei werden diese arteigenen Schichten auf der Stahloberfläche durch das Beizen in verdünnter Salzsäure problemlos und vollständig entfernt.

Im Rahmen der Fertigung im Stahlbaubetrieb werden Konstruktionen im Allgemeinen gestrahlt. Hierbei ist darauf zu achten, dass Rückstände des Strahlmittels von der Konstruktion (z.B. aus Ecken und Vertiefungen) vollständig entfernt werden müssen.

Bei Brennschnittkanten, insbesondere bei plasmageschnittenen Werkstückkanten, kann es im Bereich der Schnittflächen zu Veränderungen in der Werkstückoberfläche kommen (z.B. Entkohlung). Diese Veränderungen können auch eine veränderte Eisen-Zink-Reaktion zur Folge haben – mit dem Ergebnis, dass sich Zinküberzüge ausbilden, deren Dicke unter den geforderten Normwerten liegt. Zudem wird auch die Haftfestigkeit massiv eingeschränkt, was zu Abplatzungen der Zinkschicht führen kann. In solchen Fällen wird empfohlen, die Brennschnittflächen mindestens 0,1 mm abzuarbeiten (z.B. durch Schleifen) sowie die Profilkanten zu brechen.

## 7. Generelle Bemerkungen:

Bei Fragen und/oder Unklarheiten sollte direkt mit der Verzinkerei oder dem SFF (Schweizerische Fachstelle Feuerverzinken) Kontakt aufgenommen werden.