

Merkblatt 329

## Korrosionsschutz durch Feuerverzinken (Stückverzinken)



**Stahl-Information-Zentrum**

## Stahl-Informations-Zentrum

Das Stahl-Informations-Zentrum ist eine Gemeinschaftsorganisation Stahl erzeugender und verarbeitender Unternehmen. Markt- und anwendungsorientiert werden firmenneutrale Informationen über Verarbeitung und Einsatz des Werkstoffs Stahl bereitgestellt.

Verschiedene **Schriftenreihen** bieten ein breites Spektrum praxisnaher Hinweise für Konstrukteure, Entwickler, Planer und Verarbeiter von Stahl. Sie finden auch Anwendung in Ausbildung und Lehre.

**Vortragsveranstaltungen** schaffen ein Forum für Erfahrungsberichte aus der Praxis.

**Messebeteiligungen und Ausstellungen** dienen der Präsentation neuer Werkstoffentwicklungen sowie innovativer, zukunftsweisender Stahlanwendungen.

Als **individueller Service** werden auch Kontakte zu Instituten, Fachverbänden und Spezialisten aus Forschung und Industrie vermittelt.

Die **Pressearbeit** richtet sich an Fach-, Tages- und Wirtschaftsmedien und informiert kontinuierlich über neue Werkstoffentwicklungen und -anwendungen.

Das Stahl-Informations-Zentrum zeichnet besonders innovative Anwendungen mit dem **Stahl-Innovationspreis** aus. Er ist einer der bedeutendsten Wettbewerbe seiner Art und wird alle drei Jahre ausgelobt ([www.stahlinnovationspreis.de](http://www.stahlinnovationspreis.de)).

Die **Internet-Präsentation** ([www.stahl-info.de](http://www.stahl-info.de)) informiert u. a. über aktuelle Themen und Veranstaltungen und bietet einen Überblick über die Veröffentlichungen des Stahl-Informations-Zentrums. Schriftenbestellungen sowie Kontaktaufnahme sind online möglich.

## Impressum

Merkblatt 329  
„Korrosionsschutz durch Feuerverzinken (Stückverzinken)“  
Ausgabe 2009  
ISSN 0175-2006

### Herausgeber:

Stahl-Informations-Zentrum  
Postfach 10 48 42  
40039 Düsseldorf

Die Erarbeitung des Inhalts erfolgte durch das  
Institut Feuerverzinken GmbH  
Sohnstraße 66  
40237 Düsseldorf

Eine inhaltsgleiche Informationsschrift ist unter dem gleichen Titel beim Institut Feuerverzinken GmbH erhältlich.

Die dieser Veröffentlichung zugrunde liegenden Informationen wurden mit größter Sorgfalt recherchiert und redaktionell bearbeitet. Eine Haftung ist jedoch ausgeschlossen.

Ein Nachdruck - auch auszugsweise - ist nur mit schriftlicher Genehmigung des Herausgebers und bei deutlicher Quellenangabe gestattet.

### Titelbild:

Parkhaus Engelenschanze, Münster (Foto: Werner Huthmacher, Berlin)

### Mitglieder des Stahl-Informations-Zentrums:

- AG der Dillinger Hüttenwerke
- ArcelorMittal Bremen GmbH
- ArcelorMittal Commercial RPS S.à.r.l.
- ArcelorMittal Duisburg GmbH
- ArcelorMittal Eisenhüttenstadt GmbH
- Benteler Stahl/Rohr GmbH
- Gebr. Meiser GmbH
- Georgsmarienhütte GmbH
- Rasselstein GmbH
- Remscheider Walz- und Hammerwerke Böllinghaus GmbH & Co. KG
- Saarstahl AG
- Salzgitter AG
- ThyssenKrupp Electrical Steel GmbH
- ThyssenKrupp GfT Bautechnik GmbH
- ThyssenKrupp Steel AG
- ThyssenKrupp VDM GmbH
- Wickedder Westfalenstahl GmbH



Abb. 1: Antennenempfangsmast Reg TP Leipzig (Foto: Schulitz + Partner Architekten, Braunschweig)

## Inhalt

	Seite		Seite
1 Die Werkstoffe Stahl und Zink .....	4	5.4.1 Badabmessungen, Stückgewichte .....	12
1.1 Stahl .....	4	5.4.2 Sperrige Teile .....	12
1.2 Zink .....	4	5.4.3 Aufhängungen .....	13
1.3 Wirtschaftlichkeit von Korrosionsschutzsystemen .....	4	5.4.4 Werkstoffdicken .....	13
1.4 Ökologie und Nachhaltigkeit .....	5	5.4.5 Überlappungen .....	13
2 Feuerverzinken .....	5	5.4.6 Freischnitte und Durchflussöffnungen .....	13
2.1 Das Verfahren .....	5	5.4.7 Bohrungen/Passungen .....	14
2.2 Die Verfahrensschritte .....	5	5.4.8 Konstruktionen aus Rohren .....	14
2.3 Hochtemperaturverzinken - Feuerverzinken von Kleinteilen .....	6	5.5 Schweißen vor dem Feuerverzinken .....	14
2.4 Besonderheiten des Korrosionsschutzes durch Feuerverzinken .....	6	5.5.1 Vermeidung von Verzug und Rissbildung .....	14
3 Zinküberzüge .....	7	5.5.2 Schweißtechnische Merkmale .....	15
4 Korrosionsverhalten von Zinküberzügen .....	8	5.5.3 Auswirkungen von Schweißeigen- spannungen .....	16
4.1 Schutzdauer .....	8	5.6 Schweißen nach dem Feuerverzinken .....	16
4.1.1 Atmosphärische Beständigkeit .....	8	5.7 Nacharbeit und Ausbessern .....	17
4.1.2 Mechanische Beständigkeit .....	9	5.8 Lagern und Transportieren von feuerverzinktem Stahl .....	17
4.2 Der kathodische Schutz .....	10	6 Die wichtigsten Normen .....	18
4.3 Duplex-Systeme .....	10	6.1 DIN EN ISO 1461 .....	18
5 Feuerverzinkungsgerechtes Konstruieren ...	11	6.2 DIN EN ISO 14713 .....	19
5.1 Anforderungen an den Werkstoff Stahl .....	11	6.3 DIN EN ISO 10684 .....	19
5.2 Vorbereitung der Stahloberfläche .....	12	7 Literatur .....	19
5.3 Ausschreibung/Auftragsvergabe .....	12		
5.4 Abmessungen, Gewichte und konstruktive Gestaltung des Verzinkungsgutes .....	12		

## 1 Die Werkstoffe Stahl und Zink

### 1.1 Stahl

Stahl ist die Nummer eins unter den metallischen Werkstoffen. Seine konkurrenzlose Wirtschaftlichkeit und sein breites Anwendungsspektrum machen ihn unschlagbar. Seine mechanischen und physikalischen Eigenschaften eröffnen fast unbegrenzte Be- und Verarbeitungsmöglichkeiten und erschließen ihm ständig neue Anwendungsgebiete.

Wie jeder Werkstoff unterliegt Stahl korrosiven Beanspruchungen. Stahl muss geschützt werden. Durch die konsequente Anwendung entsprechender Schutzmaßnahmen können Korrosionsschäden an Stahlkonstruktionen zuverlässig verhindert werden.

### 1.2 Zink

Zink ist die Nummer 30 im Periodensystem der Elemente, aber im Korrosionsschutz die Nummer eins. Das silbrige, relativ unedle Metall Zink hat einen Schmelzpunkt von 419 °C und verdampft bei 907 °C.

Zink ist ein unentbehrliches Spurenelement für alle Lebewesen und für den Stoffwechsel von Mensch und Tier von zentraler Bedeutung. Es ist verantwortlich für das gut funktionierende menschliche Sehvermögen und beschleunigt die Selbstheilung des Körpers. In der Medizin wird es vielfältig angewendet, z.B. für Salben und Puder.

Zink findet sich in der Technik in Autoreifen und Kunststoffen, ebenso als Pigment in Beschichtungsstoffen. Zinkbleche sind bekannt bei Regenrinnen, Dacheindeckungen und zur Verkleidung von Fassaden. Zinkdruckguss wird für Maschinenteile und Gehäuse verwendet. Zinkanoden schützen auf elektrochemischem Wege vor Korrosion. Zinküberzüge bieten

gute Korrosionsschutzeigenschaften und haben sich deshalb im Bereich der metallischen Überzüge durchgesetzt.

Zink wird im Korrosionsschutz vielfältig eingesetzt, z. B.

- beim Feuerverzinken (kontinuierlich und diskontinuierlich),
- beim thermischen Spritzen mit Zink (Spritzverzinken),
- beim elektrolytischen Verzinken,
- für metallische Überzüge mit Zinkstaub (Sherardisieren, mechanisches Plattieren),
- beim elektrochemischen Schutz durch Zinkanoden,
- als Pigment in Beschichtungsstoffen.

Durch das Feuerverzinken erhält man den Zinküberzug mit der längsten Korrosionsschutzdauer.

### 1.3 Wirtschaftlichkeit von Korrosionsschutzsystemen

Die Schutzdauer eines Korrosionsschutzsystems hat einen entscheidenden Einfluss auf 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.

Eine systematische Korrosionsschutzplanung ist deshalb unter technischen und auch unter betriebswirtschaftlichen Aspekten

sinnvoll. Für den Korrosionsschutz im Bauwesen verwendet man unterschiedliche Beschichtungssysteme, das Feuerverzinken und die Kombination von beidem, so genannte Duplex-Systeme. Für die Wahl des optimalen Korrosionsschutzsystems gibt es entscheidende Kriterien:

- die zu erwartende Nutzungsdauer des Objektes,
- die (atmosphärische) Belastung am vorgesehenen Einsatzort,
- die Schutzdauer des Korrosionsschutzsystems,
- die Kosten für den Erstschutz,
- die Folgekosten bei Instandhaltungsarbeiten und die Auswirkungen von Betriebsunterbrechungen,
- die Verlässlichkeit des ausgewählten Systems.

Selbst bei höheren Erstkosten ist die Entscheidung für ein langlebigeres Schutzsystem zumeist empfehlenswert, da hierdurch mittelfristig hohe Instandhaltungskosten eingespart werden können. Das Feuerverzinken bietet ein hervorragendes Preis-Leistungs-Verhältnis. Es spielt seine Vorteile im Langzeit-Korrosionsschutz aus und ist vielfach bereits bei den Erstkosten günstiger als vergleichbare Wettbewerbsverfahren.

Basisinformationen und eine Entscheidungshilfe zur Korrosionsschutzplanung und zur Kostenberechnung findet man unter [www.opticor.de](http://www.opticor.de).



Abb. 2:  
Treppe Molenturm  
Friedrichshafen  
(Foto: Architekt  
Thomas Hirthe,  
Friedrichshafen)

## 1.4 Ökologie und Nachhaltigkeit

Generell gilt: Korrosionsschutz bedeutet Ressourcenschutz. Er verlängert die Lebensdauer von Bauteilen und reduziert den Ressourcenverbrauch. Allein in Deutschland lassen sich hierdurch pro Jahr viele Milliarden Euro einsparen.

Der beim Feuerverzinken verwendete Werkstoff Zink ist ein natürliches in Gesteinen als Erz vorkommendes Metall und für Menschen, Tiere und Pflanzen von lebensnotwendiger Bedeutung. Zink kann einfach und ohne Qualitätsverlust (Downcycling) beliebig häufig recycelt werden. Mehr als 90% des verfügbaren Alt-Zinks werden heute recycelt. Es stammt primär von Zinkdruckguss- und Walzzink-Anwendungen sowie von Zinküberzügen auf Stahlteilen, die sich am Ende der Nutzungsdauer ebenfalls wieder problemlos zurückgewinnen lassen.

Im direkten Vergleich mit anderen Korrosionsschutzsystemen bietet das Feuerverzinken neben technischen auch klare ökologische Vorteile.

Eine vergleichende Untersuchung der Technischen Universität Berlin fand mittels der Ökobilanzmethodik heraus, dass der Ressourcen- und Energieverbrauch, die CO<sub>2</sub>-Emissionen, die Entstehung von Treibhausgasen und weiteren Umweltbelastungen deutlich niedriger als bei vergleichbaren

anderen Korrosionsschutzsystemen liegen (Abb. 3). So spart der Einsatz einer Feuerverzinkung über die gesamte Nutzungsdauer bis zu 114 kg CO<sub>2</sub> pro Tonne Stahl im Vergleich mit anderen Systemen. Dies entspricht dem CO<sub>2</sub>-Verbrauch eines modernen Kühlschranks in ca. 18 Monaten.

## 2 Feuerverzinken

Dem Feuerverzinken kommt gemessen an der Fläche des gegen Korrosion geschützten Stahls die größte Bedeutung zu. Der Franzose Malouin entdeckte 1742 die Möglichkeit, Stahlteile durch Eintauchen in flüssiges Zink vor Korrosion zu schützen. 100 Jahre später fand sein Landsmann Sorel ein Verfahren, mit dem Stahl vor dem Verzinken gebeizt werden kann und so Zinküberzüge wirtschaftlich und mit brauchbaren Eigenschaften erzeugt werden können.

Das Feuerverzinken war zunächst eine rein handwerkliche Tätigkeit in kleinen Familienbetrieben. Verzinkt wurden hauptsächlich leichte Blechwaren und Geschirre. In der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts erfuhr das Feuerverzinken eine stürmische Weiterentwicklung. Die Vergrößerung der Verzinkungsbäder erschloss für das Verfahren vielfältige neue Anwendungsbereiche.

Zurzeit werden in Deutschland pro Jahr mehr als 5 Mio. Tonnen Stahl durch Feuerverzinken vor Korrosion geschützt. 1,4 Mio. Tonnen davon werden durch das in dieser Broschüre beschriebene Verfahren stückverzinkt.

## 2.1 Das Verfahren

Feuerverzinken heißt, Stahl nach entsprechender Vorbehandlung durch Tauchen in eine flüssige Zinkschmelze an der Oberfläche zu legieren und mit Zink zu überziehen. Hierbei unterscheidet man zwischen kontinuierlichen und diskontinuierlichen Verfahren ([1], [3], [4], [5]). Die nachstehenden Kapitel beziehen sich auf das Stückverzinken, das diskontinuierliche Feuerverzinken von Einzelteilen.

## 2.2 Die Verfahrensschritte

Nach der Anlieferung und Eingangsprüfung der zu verzinkenden Teile werden die Werkstücke zunächst zu Chargen möglichst ähnlicher Bauteile zusammengestellt, damit ein wirtschaftliches Feuerverzinken gewährleistet ist. Im Anschluss daran wird die erforderliche Oberflächenvorbehandlung und auch das eigentliche Verzinken durch Eintauchen in Bäder mit entsprechenden flüssigen Medien durchgeführt (Abb. 4).

Unabdingbar für ein gutes Verzinkungsergebnis ist eine gründliche Reinigung und Oberflächenvorbehandlung. Deshalb wird das Verzinkungsgut zunächst in ein Entfettungsbad getaucht, um Öle und Fette zu entfernen, und daran anschließend kurz in einem Wasserbad gespült. Dann folgen Beizbäder mit verdünnter Mineralsäure, die Rost und Zunder von der Oberfläche lösen. Ein anschließendes Spülbad verhindert die Verschleppung von Beizflüssigkeit. Im Flussmittelbad erhält die Oberfläche schließlich einen dünnen

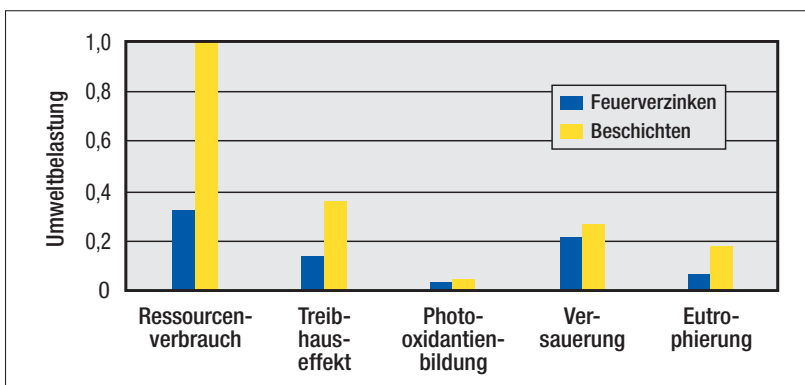


Abb. 3: Umweltbelastung in verschiedenen Wirkungskategorien

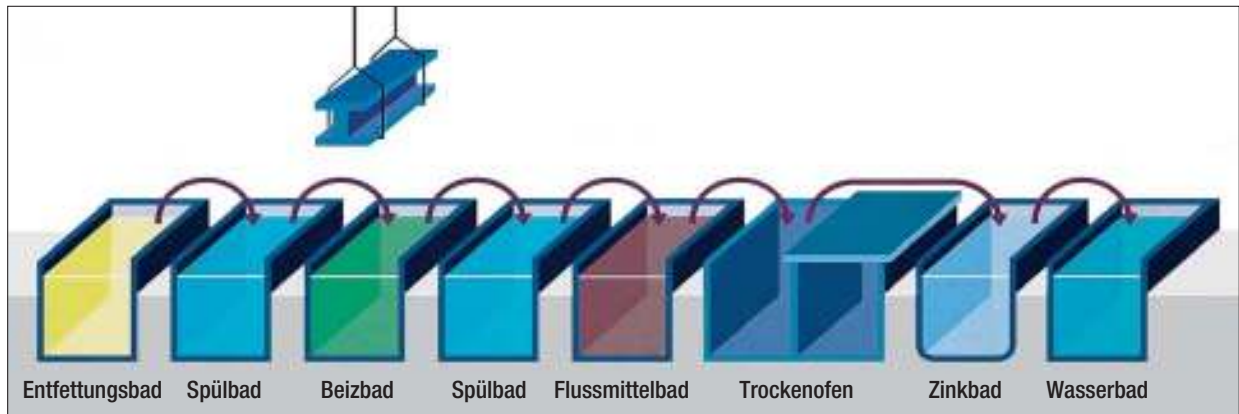


Abb. 4: Verfahrensablauf des Stückverzinkens (schematisch: Varianten sind möglich)

Film, der später die metallurgische Reaktion zwischen Stahloberfläche und Zinkschmelze unterstützt. Im Anschluss an die Flussmittelbehandlung wird das Verzinkungsgut zumeist in einem Trockenofen getrocknet.

Nach dem Trocknen wird das Verzinkungsgut in die flüssige Zinkschmelze getaucht. Zink hat eine Schmelztemperatur von ca. 419 °C; die Betriebstemperatur eines Verzinkungsbades liegt jedoch in den meisten Betrieben zwischen 440 °C bis 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 – als Reinzinkschicht bezeichnete – Schicht aus Zink haften.

Je nach Art der Eisen- und Stahlteile und ihrer Werkstoffzusammensetzung werden die Werkstücke abschließend in einem Wasserbad oder an der Luft abgekühlt.

### 2.3 Hochtemperaturverzinken – Feuerverzinken von Kleinteilen

Eine spezielle Form des Feuerverzinkens ist das Hochtemperaturverzinken von Kleinteilen. Prinzipiell können Kleinteile auch nach dem klassischen Verfahren feuerverzinkt werden, mitunter werden jedoch an die Eigenschaften des Zinküberzuges besondere Anforderungen gestellt. Aus diesem Grund wurden für Kleinteile (Schrauben, Muttern, Nägel bzw. Stifte und ähnliche Schüttgüter) speziell automatisierte oder teilautomatisierte Verfahrensvarianten entwickelt.

Ein wesentlicher Unterschied zu den anderen Verzinkungsverfahren besteht darin, dass mit einer höheren Temperatur, die zwischen 530 und 560 °C liegt, verzinkt wird. Unmittelbar nach dem Feuerverzinken ist ein Zentrifugieren (Schleudern) der Teile vorgesehen, wodurch „überflüssiges“ Zink von den Teilen abgeschleudert 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. Produkt- und werkstoffabhängig werden die jeweils günstigsten Zinkbadtemperaturen oder Schleuderbedingungen ausgewählt.

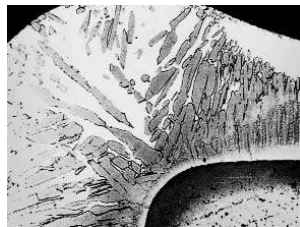
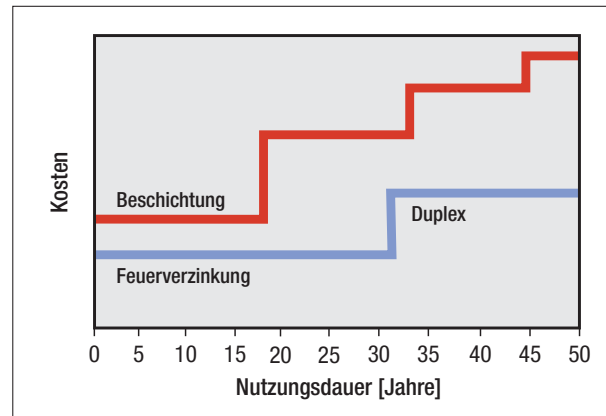
### 2.4 Besonderheiten des Korrosionsschutzes durch Feuerverzinken

Der Korrosionsschutz durch Feuerverzinken weist einige Besonderheiten auf.

1. Eine Feuerverzinkung ist sehr langlebig. Unter normalen Bedingungen schützt sie mehr als 40 Jahre vor Korrosion und selbst bei höherer Belastung (z. B. in Industrieluft oder an der Meeresküste) beträgt die Schutzdauer in der Regel mehr als 25 Jahre (Abb. 5).
2. Das Feuerverzinken ist ein industrieller Korrosionsschutz ab Werk, der unter definierten optimalen Bedingungen gemäß DIN EN ISO 1461 („Durch Feuerverzinken auf Stahl aufgebrauchte Zinküberzüge [Stückverzinken]“) durchgeführt wird.
3. Ein Zinküberzug geht eine Legierung mit dem Stahl ein. Er ist somit unlösbar mit dem Stahl verbunden und bietet einen zuverlässigen Schutz bei mechanischen Belastungen. Beanspruchungen, die bei Transport, Aufbau und Nutzung von Stahlkonstruktionen auftreten, hinterlassen keine Beschädigungen der Zinkschicht.
4. Eine Feuerverzinkung ist wartungsfrei. Instandhaltungsarbeiten, die zusätzliche Kosten und Betriebsstörungen verursachen, fallen bei einer Feuerverzinkung

- in der Regel während der gesamten Nutzungsdauer nicht an.
- Die Wirtschaftlichkeit eines Korrosionsschutzsystems wird durch die Erstkosten sowie durch eventuell anfallende Wartungs- und Instandhaltungskosten bestimmt. Bei der Betrachtung der Erstkosten ist eine Feuerverzinkung in der Herstellung zumeist nicht teurer als andere Schutzsysteme für Stahl. Im Hinblick auf die langfristigen Kosten (**Abb. 6**) wirken sich Langlebigkeit und Wartungsfreiheit der feuerverzinkten Oberfläche besonders günstig auf die Wirtschaftlichkeit aus.
  - Da bei der Feuerverzinkung die Bauteile im Tauchverfahren verzinkt werden, sind gerade 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. 7**). Die so genannte Kantenflucht, die bei anderen Korrosionsschutzsystemen auftreten kann, gibt es hier nicht.
  - Zwar ist eine Feuerverzinkung weitgehend beständig gegen mechanische Belastungen, doch können bei sehr extremer Beanspruchung Kratzer und Schrammen auftreten. Bei derartigen

**Abb. 6:** Kostenentwicklung bei Korrosionsschutzsystemen (schematisch)



**Abb. 7:** Zinküberzug an einer Werkstückkante

Beschädigungen wirkt der so genannte kathodische Schutz, der auf elektrochemischem Wege eine Barriere aufbaut und somit Schadstellen vor Korrosion schützt.

- Eine Feuerverzinkung ist ein metallisches Korrosionsschutzsystem und bewahrt den metallischen Charakter und die Oberflächenstruktur des Stahls.

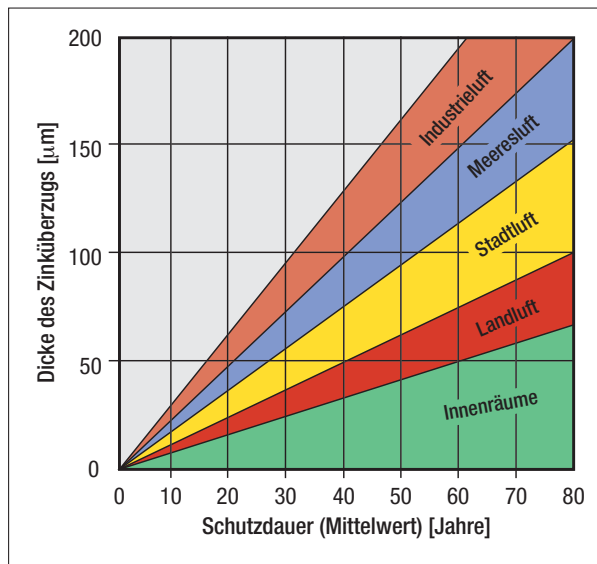
## 3 Zinküberzüge

Die Reaktionen zwischen Eisen und flüssigem Zink verlaufen äußerst kompliziert. Nachstehend werden deshalb nur die wesentlichen technologischen Vorgänge in stark vereinfachter Form erläutert. Detailliertere Angaben können dem einschlägigen Schrifttum, z. B. [6], entnommen werden.

Während des Eintauchens in das Zinkbad wird das Verzinkungsgut auf die Zinkbadtemperatur (440 bis 460 °C) erwärmt. Dabei bilden sich auf der Oberfläche durch wechselseitige Diffusion Eisen-Zink-Legierungsschichten. Beim Herausziehen der Teile aus dem Zinkbad überziehen sich diese Legierungsschichten üblicherweise noch mit einer Reinzinkschicht. Dadurch entsteht ein glänzender Überzug – häufig mit ausgeprägtem Zinkblumenmuster. **Abb. 8** zeigt das Schlibbild eines solchen Überzuges.

Die Schutzdauer eines Zinküberzuges wird primär durch seine Schichtdicke bestimmt. Die Dicke von Zinküberzügen wird in  $\mu\text{m}$  ( $1 \mu\text{m} = 1/1.000 \text{ mm}$ ) gemessen und angegeben. Die Norm DIN EN ISO 1461 legt u. a. Mindestschichtdicken für Zinküberzüge fest, wie sie je nach Materialdicke bei der Stückverzinkung zu liefern sind (siehe Seite 18). In der Praxis werden jedoch Zinküberzüge erzeugt, deren Schichtdicken oberhalb der Mindestanforderungen der Norm liegen. Dies bedeu-

**Abb. 5:** Schutzdauer von Zinküberzügen



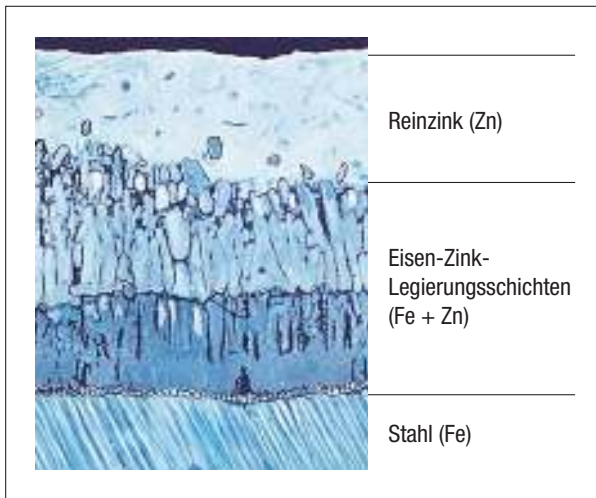


Abb. 8:  
Schliffbild eines  
Zinküberzuges  
mit typischem  
Schichtaufbau  
(Vergrößerung  
ca. 200:1)

#### 4.1.1 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 Stahloberfläche. Die Deckschichten werden zwar im Laufe der Zeit durch Wind und Wetter abgetragen, erneuern sich jedoch ständig durch das darunter befindliche Zink. Das bedeutet also, dass Zinküberzüge im Laufe der Zeit langsam dünner werden, wobei der Einfluss der Atmosphäre hinsichtlich der jährlich zu erwartenden Zinkkorrosion einen entscheidenden Einfluss ausübt.

Die Korrosion von Zinküberzügen erfolgt im Wesentlichen linear. So lässt sich aus der Kenntnis der zu erwartenden Korrosionsbelastung des Zinküberzuges, die primär von den Bedingungen am Standort des Objektes abhängig ist, und der Dicke des vorhandenen Zinküberzuges die zu erwartende Dauer der Korrosionsschutzwirkung ermitteln.

Durch Umweltschutzmaßnahmen hat sich die Belastung der Atmosphäre mit korrosiven Verunreinigungen in den vergangenen Jahrzehnten deutlich verringert. Die  $\text{SO}_2$ -Konzentration ist erheblich zurückgegangen. Der so genannte „saure Regen“, der auch die Korrosion des Zinks wesentlich beeinflusst, ist heute weniger sauer als vor Jahren. Nach neueren Untersuchungen ([7], [9]) beträgt die mittlere Korrosionsgeschwindigkeit von Zink in Deutschland nur noch ca.  $1 \mu\text{m}$  pro Jahr. Für die Zukunft wird ein weiterer Rückgang der Belastung der Atmosphäre erwartet.

Die Korrosionsgeschwindigkeit von Zink ist entscheidend für die Schutzdauer von Zinküberzügen, die sich als Folge der verringerten Korrosionsbelastung deutlich erhöht hat. Dies macht eine Feuer-

tet, dass die tatsächliche Schutzdauer eines Zinküberzuges in der Regel deutlich länger ist als die theoretisch ermittelte, die auf der Mindestschichtdicke gemäß Norm basiert. Es werden also zusätzliche Sicherheitsreserven produziert.

An dieser Stelle sei auf ein anderes positives Phänomen beim Feuerverzinken hingewiesen: Die einzelnen Kristalle der Eisen-Zink-Legierungsschichten wachsen senkrecht zur Stahloberfläche. An Ecken und Kanten öffnen sich die Legierungsschichten deshalb fächerförmig, und die Zwischenräume füllen sich mit Zink. Durch Stückverzinken hergestellte Zinküberzüge sind deshalb im Regelfall an Ecken und Kanten mindestens ebenso dick wie auf den angrenzenden Flächen; bei reaktionsfreudigen Stahlsorten sind sie dort häufig sogar dicker.

## 4 Korrosionsverhalten von Zinküberzügen

### 4.1 Schutzdauer

Neben wirtschaftlichen Erwägungen 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.



Abb. 9:  
Überdachung  
Montagewerk  
Modine Automotive,  
Wackersdorf  
(Foto: Studio Klaus  
Ravenstein, Essen)

Korrosivitäts-kategorie	Typische Umgebung innen	Typische Umgebung außen	Korrosions-belastung	Durchschnittliche Zinkkorrosion
C 1	Geheizte Gebäude mit neutralen Atmosphären, z. B. Büros, Läden, Schulen, Hotels		Unbe-deutend	$\leq 0,1 \mu\text{m/a}$
C 2	Ungeheizte Gebäude, in denen Kondensation auftreten kann, z. B. Lager, Sporthallen	Atmosphären mit geringer Verunreinigung; meistens ländliche Bereiche	Gering	$> 0,1$ bis $0,7 \mu\text{m/a}$
C 3	Produktionsräume mit hoher Feuchte und etwas Luftverunreinigung, z. B. Anlagen zur Lebensmittelherstellung, Wäschereien, Brauereien, Molkereien	Stadt- und Industriatmosphäre, mäßige Verunreinigungen durch Schwefeldioxid; Küstenbereiche mit geringer Salzbelastung	Mäßig	$> 0,7$ bis $2,1 \mu\text{m/a}$
C 4	Chemieanlagen, Schwimmbäder, Bootsschuppen über Meerwasser	Industrielle Bereiche und Küstenbereiche mit mäßiger Salzbelastung	Stark	$> 2,1$ bis $4,2 \mu\text{m/a}$
C 5-I	Gebäude oder Bereiche mit nahezu ständiger Kondensation und mit starker Verunreinigung	Industrielle Bereiche mit hoher Feuchte und aggressiver Atmosphäre	Sehr stark (Industrie)	$> 4,2$ bis $8,4 \mu\text{m/a}$
C 5-M	Gebäude oder Bereiche mit nahezu ständiger Kondensation und mit starker Verunreinigung	Küsten- und Offshore-Bereiche mit hoher Salzbelastung	Sehr stark (Meer)	$> 4,2$ bis $8,4 \mu\text{m/a}$

Abb. 10: Korrosionsbelastung und Korrosivitätsraten von Zinküberzügen durch verschiedene Atmosphärentypen (DIN EN ISO 12944) [13]

verzinkung noch wirtschaftlicher, als bisher angenommen wurde. Der Zinküberzug bietet in den meisten Fällen einen Schutz von 40 Jahren und mehr (Abb. 5).

### 4.1.2 Mechanische Beständigkeit

Korrosionsschutzsysteme sind oft vielfältigen mechanischen Belastungen ausgesetzt. Ein Zinküberzug geht in Form einer Legierung eine feste, unlösbare Verbindung mit dem Stahl ein. Die Härte der Eisen-Zink-Legierungsschichten (Abb. 11) liegt erheblich über der Härte normaler Baustähle. Dies gewährleistet eine hohe Verschleiß- und Abriebbeständigkeit von Zinküberzügen und bietet einen zuverlässigen Schutz bei mechanischen Belastungen. Da der Korrosionsschutz inzwischen in den meisten Fällen ab Werk

durchgeführt wird, betrifft dies u. a. Transport, Handling und Montage während der Bauphase sowie Belastungen während der Betriebs- und Nutzungsphase, z. B. 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.

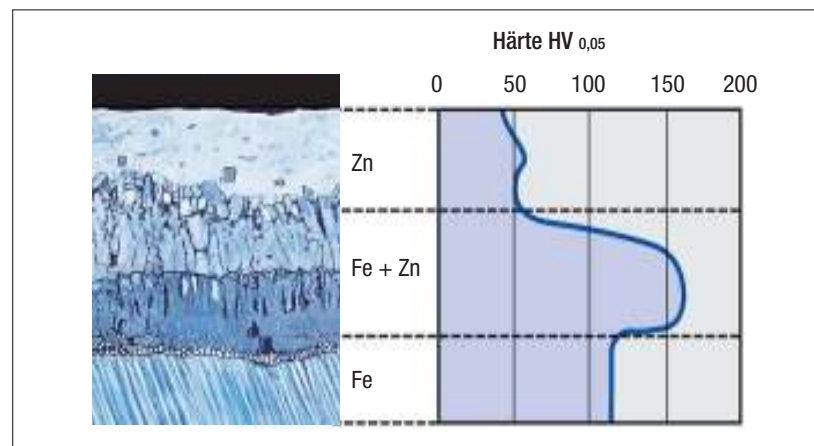


Abb. 11: Härteverlauf in einem Zinküberzug (schematisch dargestellt)

Durch wissenschaftliche Untersuchungen konnte die mechanische Belastbarkeit der Feuerverzinkung im Vergleich mit Beschichtungssystemen quantifiziert werden. 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.



Abb. 13: Gläserne Waschstraße mit „Duplex“-beschichteter Stahlkonstruktion (Foto: Haack+Höpfner Architekten und Johann Hinrichs, München)

Hierdurch zeigt sich, dass es die Summe der Eigenschaften ist, die eine Feuerverzinkung auszeichnet. Gut zu wissen, dass es Schutzsysteme gibt, die auf diesem Gebiet zusätzliche Stärken aufweisen (Abb. 12).

#### 4.2 Der kathodische Schutz

Ein Blick auf die Spannungsreihe der Metalle zeigt, dass Zink im Vergleich mit Eisen das unedlere Metall ist und somit bei leitender Verbindung mit Eisen und Anwesenheit eines Elektrolyten in Lösung geht. Zink fungiert hier als

Opfermetall. Das bedeutet, dass sich bei einem verzinkten Bauteil, das beschädigt wurde, an der beschädigten Stelle das umgebende Zink „opfert“ und den Stahl schützt. Man nennt diesen Effekt den „kathodischen Schutz“.

#### 4.3 Duplex-Systeme

Die Korrosionsbeständigkeit feuerverzinkten Stahls ist bei normaler atmosphärischer Beanspruchung auf Jahrzehnte sichergestellt. Bei extremer Beanspruchung bietet ein Duplex-System, d.h. die Kombination aus einer

Feuerverzinkung und einer Beschichtung, einen optimalen Korrosionsschutz.

Die Schutzdauer von Duplex-Systemen ist im Regelfall deutlich länger als die Summe der jeweiligen Einzelschutzdauer der beiden Systeme. Man spricht hier von einem Synergie-Effekt. Der sich einstellende Verlängerungsfaktor liegt je nach System zwischen 1,2 und 2,5.

Duplex-Systeme werden bei extrem hoher Korrosionsbelastung eingesetzt und da, wo Farbgebung eine Rolle spielt. Dies kann aus gestalterischen Gründen geschehen oder zur Signalgebung und Tarnung von Objekten.

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“) Teil 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 die neue, bislang nur im Entwurf vorliegende, DIN 55633 Empfehlungen und Hinweise. Die in DIN EN ISO 12944-5 und in DIN 55633 dargestellte Schutzdauer betrifft nur die

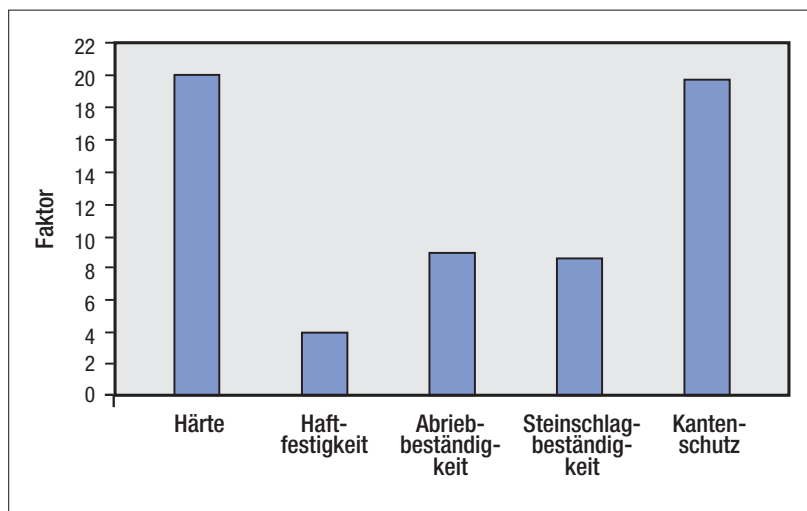


Abb. 12: Eigenschaftsvergleich Feuerverzinken – Beschichten: Faktor, um den die Feuerverzinkung überlegen ist

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 einer hierzu erarbeiteten Richtlinie entnommen werden [14]. Die Richtlinie und weitere Informationen zu Duplex-Systemen sind in der Broschüre „Korrosionsschutz durch Duplex-Systeme“ des Institutes Feuerverzinken enthalten.

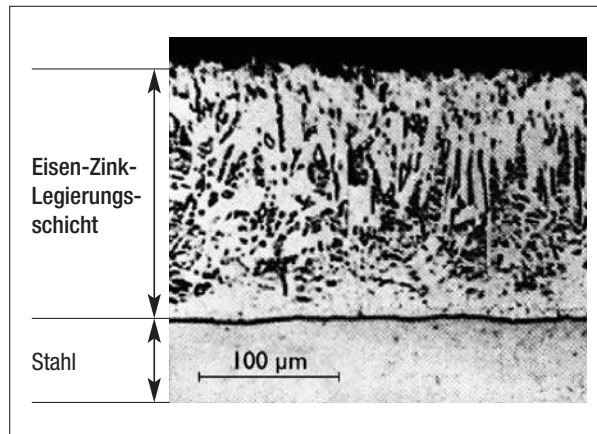


Abb. 14: Schliffbild eines feuerverzinkten Stahls mit durchgewachsener Eisen-Zink-Legierungsschicht

## 5 Feuerverzinkungsgerechtes Konstruieren

Sollen Stahlteile durch Feuerverzinken optimal gegen Korrosion geschützt werden, müssen bereits bei der Planung und Konstruktion einige Besonderheiten dieses Schutzverfahrens berücksichtigt werden, die sich aus dem Verfahrensablauf ergeben. Auf den Korrosionsschutz schon während der Planung am Computer Rücksicht zu nehmen, ist aber auch bei vielen anderen Verfahren erforderlich.

### 5.1 Anforderungen an den Werkstoff Stahl

Beim Feuerverzinken werden Stahlteile durch Eintauchen in eine Zinkschmelze mit einem Zinküberzug versehen. Die dabei entstehenden Eisen-Zink-Legierungsschichten überziehen sich beim Herausziehen der Stahlteile aus dem Zinkbad mit einer Reinzinkschicht. Grundsätzlich lassen sich alle gängigen Baustahlorten feuerverzinken, allerdings können Aussehen und Dicke des Überzugs differieren.

Feuerverzinken ist eine Reaktion der Stahloberfläche mit der Zinkschmelze. Das Ergebnis dieser Reaktion, der Zinküberzug bzw.

Nummer	Silicium + Phosphor [%]	Zinküberzug
1	< 0,03	Silbrig glänzend, Zinkblume, niedrige Schichtdicke
2	0,03 ... < 0,13	Grau, zum Teil grießig, hohe Schichtdicke, Sandelin-Bereich
3	0,13 ... < 0,28	Silbrig-glänzend bis mattgrau, mittlere Schichtdicke, Sebisty-Bereich
4	≥ 0,28	Mattgrau, hohe Schichtdicke

Abb. 15: Vier typische Bereiche der Stahlzusammensetzung beschreiben das Verzinkungsverhalten und -aussehen

die Zink-Eisen-Legierung, ist in entscheidendem Maße abhängig von der chemischen Zusammensetzung - insbesondere dem Silicium- und Phosphorgehalt - der Stähle, der Topografie der Stahloberfläche und von den Verzinkungsbedingungen (Schmelztemperatur, Tauchdauer) [6], [8], (Abb. 8 und **Abb. 14**).

Es kann heute als gesichert angesehen werden, dass Si und P annähernd gleichwertig die Eisen/Zinkreaktion beeinflussen. Klassifiziert man das Verzinkungsverhalten von Baustählen auf der Grundlage des Si- und P-Gehaltes, unterscheidet man vier Hauptgruppen (siehe **Abb. 15**).

Die Übergänge zwischen den Bereichen sind fließend und stark abhängig von der Temperatur der

Zinkschmelze. Nach dem üblichen Stranggussverfahren hergestellte Baustähle sind hinsichtlich ihres Silicium- und Phosphorgehaltes überwiegend dem Sebisty-Bereich zuzuordnen.

Die Feuerverzinkerei hat keine Möglichkeit, das durch die Stahlzusammensetzung bedingte Verzinkungsverhalten der Stähle und damit auch das Aussehen der Zinküberzüge zu beeinflussen.

Silbrige Zinküberzüge, wie sie allgemein für die Anwendung der Feuerverzinkung unter gestalterischen oder ästhetischen Gesichtspunkten gewünscht werden, sind vorwiegend mit Stählen gemäß Nummer 1 und 3 erreichbar.

Bei Stählen gemäß Nummer 2 und 4 können Zinküberzüge mit unterschiedlichem Aussehen

(matt bis glänzend und/oder hell- bis dunkelgrau) und größerer Dicke entstehen. Der Korrosionsschutzwert dieser Überzüge ist entsprechend der höheren Schichtdicke größer.

Werden Stähle mit unterschiedlichem Si- und P-Gehalt innerhalb eines Bauwerkes oder bei Schweißkonstruktionen auch innerhalb eines Bauteiles angewendet, ist ein unterschiedliches Aussehen des Zinküberzugs möglich (Abb. 16).



Abb. 16: Rahmenkonstruktion mit unterschiedlich ausgeprägten Zinkschichten

## 5.2 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 Metallbauunternehmen zu entfernen.

## 5.3 Ausschreibung/Auftragsvergabe

Das Feuerverzinken wird in der Regel im Lohnauftrag durchgeführt, d. h., die Feuerverzinkungsbetriebe veredeln Stahlteile im Auftrag ihrer Kunden.

Grundlage derartiger Aufträge ist die DIN EN ISO 1461 („Durch Feuerverzinken auf Stahl aufgebraute Zinküberzüge [Stückverzinken]“). Diese Norm legt alle Anforderungen und Prüfungen fest, die bei einer Feuerverzinkung einzuhalten sind und die den Regeln der Technik entsprechen.

Verzinkt ist nicht gleich verzinkt. Da es unter dem Oberbegriff „Verzinkung“ verschiedene Verfahren (siehe 1.2) 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 dauerhaften, langlebigen Korrosionsschutz durch Feuerverzinken.

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.

Um mögliche Probleme von vornherein auszuschließen, ist es meist hilfreich, darauf zu achten, dass

- für die betreffende Konstruktion ein Stahlwerkstoff eingesetzt wird, der für das Feuerverzinken geeignet ist,
- die gesamte Konstruktion feuerverzinkungsgerecht zu konstruieren und zu fertigen ist.

## Beispielhafter Ausschreibungstext für eine feuerverzinkte Konstruktion:

„Feuerverzinken aller Stahlteile nach DIN EN ISO 1461. Der verarbeitete Stahl muss zum Feuerverzinken geeignet sein, die Konstruktion ist feuerverzinkungsgerecht zu konstruieren und zu fertigen. Dabei sind die Grundsätze gemäß DIN EN ISO 14713 zu beachten. Alle Verbindungsmittel, wie z. B. Schrauben, Muttern, feuerverzinkt nach DIN EN ISO 10684.“

## 5.4 Abmessungen, Gewichte und konstruktive Gestaltung des Verzinkungsgutes

### 5.4.1 Badabmessungen, Stückgewichte

Die Verzinkungsbäder in den Feuerverzinkungsunternehmen 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 zurzeit maximale Abmessungen bis ca. 19,5 m Länge, bis zu 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.

### 5.4.2 Sperrige Teile

Da die Kosten beim Feuerverzinken u. a. von der optimalen Beladung der Gestelle und Traversen abhängig sind, verursachen ungünstige, sperrige Konstruktionen auch zwangsläufig höhere Kosten.

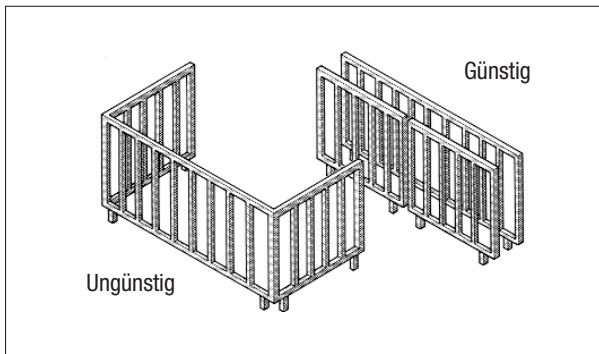


Abb. 17: Sperrige Teile vermeiden

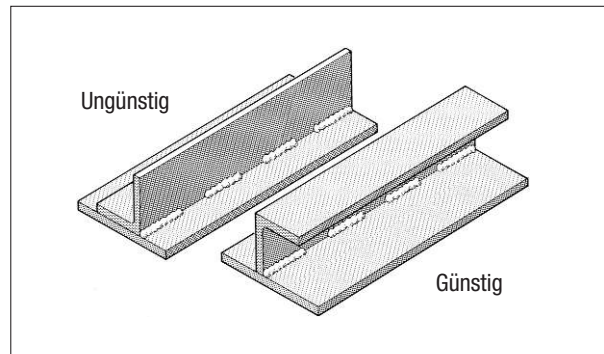


Abb. 19: Überlappungen vermeiden

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. 17). Derartige Stahlteile lassen sich einfacher und rationeller transportieren und ebenso kostengünstiger und qualitativ besser feuerverzinken [11].

### 5.4.3 Aufhängungen

Die Aufhängung von Stahlteilen sollte stets an solchen 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



Abb. 18: Eine optimale Traversenauslastung spart Kosten

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.

### 5.4.4 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 kleiner 2,5 ist, bei Anschlüssen und Fußplatten kann das Verhältnis auf 5 vergrößert werden.

### 5.4.5 Überlappungen

Überlappungsflächen sind aus Gründen des Korrosionsschutzes nach Möglichkeit zu vermeiden (Abb. 19). In die entstehenden Spalten kann Flüssigkeit aus den Vorbehandlungsbädern eindringen, die beim Tauchen in die Zinkschmelze explosionsartig ver-

dampft. Überlappungsflächen bis 100 cm<sup>2</sup> sind möglichst ringsum dicht zu verschweißen. Größere Überlappungen sind mit Entlastungsöffnungen zu versehen.

### 5.4.6 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. 20). Andernfalls wird Zink mit ausgeschleppt oder Lufteinschlüsse führen zu unverzinkten Stellen.

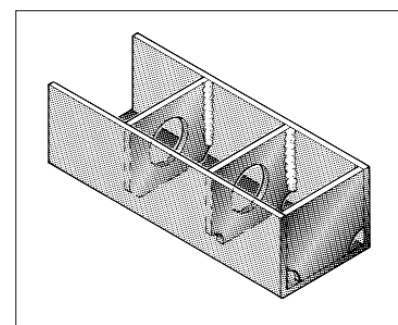


Abb. 20: Freischnitte in den Ecken sind zum vollständigen Ein- und Auslaufen des Zinks erforderlich

Hohlprofilabmessungen in mm:			Mindestloch-Ø* in mm bei einer jeweiligen Anzahl der Öffnungen von:		
○	□	▭	1	2	4
<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

\* Angaben für Profillängen bis 6 m.  
Bei längeren Bauteilen ist die Anzahl der Öffnungen zu erhöhen bzw. deren Durchmesser zu vergrößern.

Abb. 21:  
Empfohlene Durchmesser für Entlüftungsbohrungen an Hohlprofilen

### 5.4.8 Konstruktionen aus Rohren

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 Herausziehen das „überflüssige“ Zink restlos auslaufen und die Luft wieder in die Hohlräume einströmen kann (Abb. 22). Es muss demnach bei jedem Einzelprofil ein vollständiger Durchfluss aller Behandlungsmedien gewährleistet sein, der gegebenenfalls durch entsprechende 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 so weit wie möglich in der Ecke eines Bauteils angebracht sind. Üblicherweise werden die Bohrungen nachträglich von außen erstellt. Unter Umständen kann es aber auch sinnvoll sein, die erforderlichen Bohrungen bereits vor dem Zusammenbau anzubringen und sie so zu positionieren, dass sie später verdeckt und somit nicht mehr sichtbar sind.

Öffnungen zum Durchfluss der Vorbehandlungsmittel und des flüssigen Zinks in Hohlkörpern müssen entsprechend der jeweiligen Durchflussmenge ausgeführt werden. Abb. 21 gibt Hinweise auf die Anzahl und Größe (Mindestloch-Durchmesser) der Öffnungen abhängig von den Hohlprofilabmessungen.

### 5.4.7 Bohrungen/Passungen

Um Stahlteile auch nach dem Feuerverzinken ohne Probleme zusammenfügen oder montieren

zu können, ist es erforderlich, so viel Spiel vorzusehen, dass ausreichender 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.

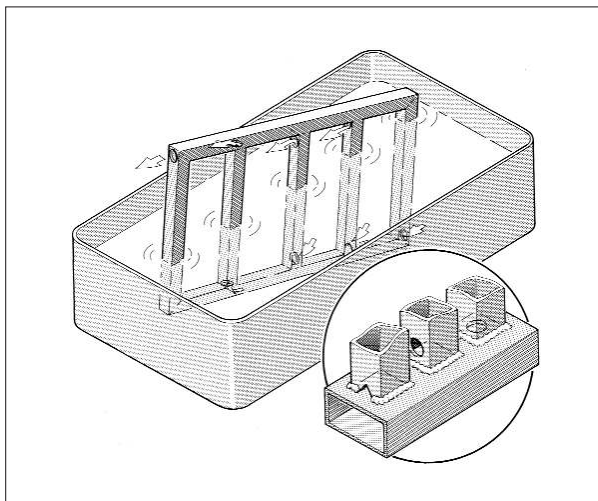


Abb. 22:  
Freischnitte in den Ecken sind zum vollständigen Ein- und Auslaufen des Zinks erforderlich

## 5.5 Schweißen vor dem Feuerverzinken

### 5.5.1 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. Dieses 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. 23). Unter der Einwirkung einer flüssigen Zinkschmelze 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 Steifigkeitssprünge 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.
- Es sollten Stähle mit guten mechanischen Eigenschaften, insbesondere mit einer guten Kerbschlagarbeit bevorzugt eingesetzt werden.
- Bei der Fertigung von Schweißkonstruktionen sind die entsprechenden Regelwerke (z.B. DAST 009) zu berücksichtigen. Daraus geht hervor, dass für

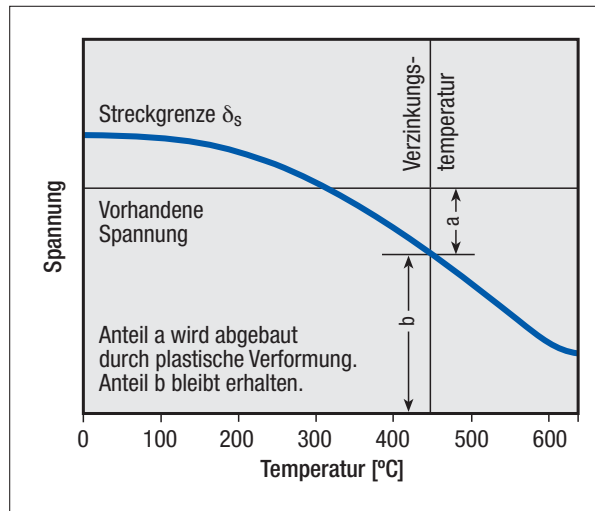


Abb. 23: Schematischer Verlauf der Streckgrenze des Stahls bei Temperaturerhöhung und Darstellung von Spannungsanteilen, die zu Verzug führen können

höhere Beanspruchungen auch qualitativ höherwertige Stahlwerkstoffe eingesetzt werden müssen.

- Ist im Rahmen der Fertigung eine Kaltverformung vorgesehen, so müssen dafür geeignete Werkstoffe verwendet werden.

Grundsätzlich lassen sich Schäden an Konstruktionen in Form von Verzug und Rissbildung durch eine vorausschauende Planung, die die Temperatur- und Ausdehnungsverhältnisse während des Verzinkungsvorganges berücksichtigt, vermeiden.

## 5.5.2 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 z.B. darauf geachtet werden, dass keine Schweißschlacken 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 Schweißzu-



Abb. 24: Aufwachsen eines Zinküberzuges an blecheben geschliffenen Schweißnähten

satzwerkstoffes erheblich von derjenigen des Grundwerkstoffes ab, können sich deutliche Unterschiede im Aussehen und in der Dicke des Zinküberzuges im Bereich von Schweißnähten ergeben. Vor allem beim Schweißen unter Schutzgas werden heute üblicherweise Schweißdrähte eingesetzt, die einen relativ hohen Siliciumgehalt aufweisen; kritische Gehalte an Silicium in der Schweißnaht können jedoch das Ergebnis der Feuerverzinkung beeinflussen. Dieses wird vor allem bei blecheben bearbeiteten (geschliffenen) Schweißnähten deutlich erkennbar (Abb. 24). An dieser Stelle baut sich infolge eines hohen Siliciumgehaltes in der Schweißnaht ein erheblich dickerer Zinküberzug auf, der sich optisch deutlich von seiner Umgebung abhebt.

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 zum Teil doch kleine Spalten und Poren unverschlossen bleiben.

### 5.5.3 Auswirkungen von Schweißbeigenspannungen

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 Verzuggefahr bei symmetrisch geschweißten Bauteilen gering ist. Bei unsymmetrisch geschweißten Profilen ist die Verzuggefahr 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.

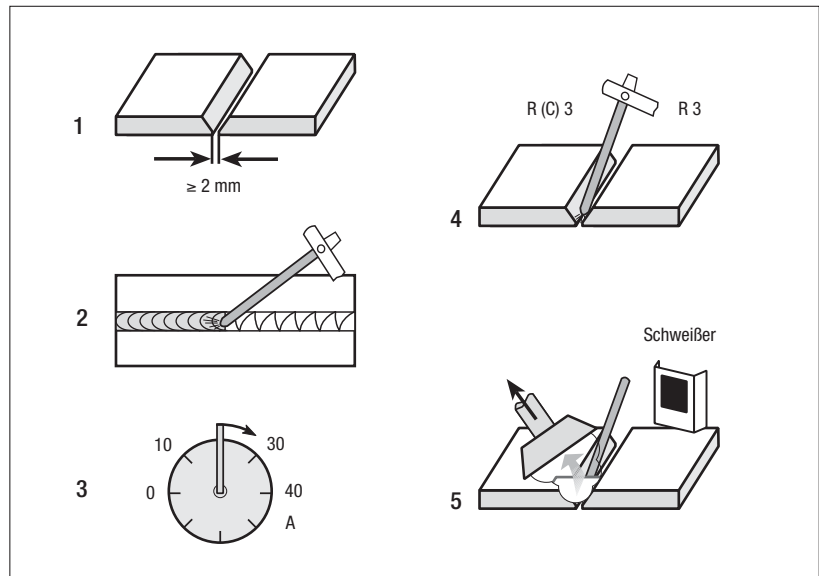


Abb. 25: Hinweise zum Schweißen von feuerverzinktem Stahl

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, 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.

Um das Feuerverzinken wirtschaftlich und preisgünstig durchführen zu können, sollten die Bauteile nicht sperrig sein. Es ist günstig, die Teile in ebenflächigen Sektionen verzinken zu lassen und sie erst bei der Montage durch Schweißen oder auch Verschrauben zu verbinden.

### 5.6 Schweißen nach dem Feuerverzinken

Es ist nicht immer möglich und sinnvoll, Bauteile komplett zu fertigen, bevor sie anschließend feuerverzinkt werden. Dies gilt insbesondere für sperrige Bauteile. Es kann deshalb erforderlich werden, an feuerverzinkten Teilen am Montageort zu schweißen oder Stahlkonstruktionen aus feuerverzinkten Halbzeugen herzustellen.

Infolge der hohen Temperatur beim Schweißen verbrennt bzw. verdampft der Zinküberzug zu beiden Seiten der Naht. Er beeinflusst den Schweißvorgang, so dass die Bedingungen gegenüber dem Schweißen an unverzinktem Stahl geändert werden müssen. Die beim Schweißen entstehenden grauweißen Zinkoxiddämpfe erschweren die Arbeit, da sie die Sicht behindern. Es entstehen Spritzer, und der Schweißverlauf wird unruhig. Unter ungünstigen Bedingungen können Poren im Schweißgut entstehen.

Zur Erreichung einer guten Schweißnaht sollte der Zinküberzug vor dem Schweißen an den betreffenden Stellen grundsätzlich entfernt werden. Ist dies nicht

möglich oder gewollt, sollten folgende Hinweise zum Schweißen von feuerverzinktem Stahl beachtet werden (**Abb. 25**):

1. Beim Schweißen von Stumpfstoßen sollte der Stirnflächenabstand etwas größer gewählt werden als bei unverzinktem Stahl, damit besonders bei der Wurzellage das verdampfende Zink abziehen kann; dadurch lassen sich Poren vermeiden. Gleiches gilt für das Schweißen von Kehlnähten.
2. Entscheidenden Einfluss auf den Schweißverlauf und die Güte der Schweißnaht hat die Schweißgeschwindigkeit. Bei zu schnellem Schweißen können die Zinkdämpfe nicht vollständig aus der Naht entweichen und somit leicht in das Schweißbad eindringen. Ein Herabsetzen der Schweißgeschwindigkeit und leichtes Pendeln mit der Elektrode erleichtern das Verdampfen und Entweichen des Zinks.
3. Wie bereits erwähnt, stört das verdampfende Zink den Lichtbogen. Geringfügiges Erhöhen des Schweißstromes wirkt sich hier positiv aus, denn der Lichtbogen wird stabiler, und das Zink kann leichter verdampfen.

4. Beim Schweißen mit Stabelektroden empfehlen sich mitteldick umhüllte Elektroden mit Rutil- oder Rutilcellulose-Umhüllungen. Beim Schweißen unter Schutzgas liefern Mischgase bessere Ergebnisse als das Schweißen mit Argon oder CO<sub>2</sub>.
5. Die beim Schweißen feuerverzinkten Stahls aufsteigenden zinkoxidhaltigen Dämpfe sollten abgesaugt werden, um den Schweißer nicht zu belasten oder gesundheitlich zu schädigen (MAK-Werte beachten).

### 5.7 Nacharbeit und Ausbessern

Hin und wieder kann es 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 zulässig 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 cm<sup>2</sup> 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 normgerechten Ausbesserung einer Fehlstelle gehört auch eine fachgerechte Oberflächenvorbereitung durch Strahlen, Sweepen oder Schleifen.

Die Ausbesserung einer Fehlstelle muss durch thermisches Spritzen mit Zink oder durch eine geeignete Zinkstaubbeschichtung innerhalb der praktikablen Grenzen solcher Systeme erfolgen. Die Verwendung von Loten auf Zinkbasis ist ebenfalls möglich.

Die Ausbesserung von Fehlstellen muss in allen Fällen in einer Dicke von ca. 30 µm zusätzlich zur geforderten örtlichen Mindestschichtdicke erfolgen. Die Ausbesserung ist so vorzunehmen, dass eine Überlappung mit dem intakten Zinküberzug sichergestellt ist [12].

### 5.8 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 Stahl-



Abb. 26:  
Lagertrakt der  
Firma TRUMA  
(Foto: Architekten  
Beck – Enz – Roth-  
gang, München)

teile 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 CO<sub>2</sub> unzureichend ist. In solchen Fällen bildet sich auf der Oberfläche verzinkter Bauteile so genannter „Weißrost“ (Abb. 27). 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



Abb. 27: Weißrostbefall infolge mangelnder Luftzirkulation

wieder abtrocknet. Dieses ist bei ausreichendem Luftzutritt und bei nicht andauernder Befeuchtung der Fall. Eine nennenswerte Schädigung tritt hierbei nicht ein, da die normgemäße Dicke des Zinküberzuges 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



Abb. 28: Toranlage Mariengymnasium, Essen (Michael Stratmann Metallgestaltung, Essen)

Befeuchtung auf. Sie kann zu einer erheblichen Schädigung des Zinküberzuges – 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 auch hier primär vorbeugende Maßnahmen ergriffen werden.

## 6 Die wichtigsten Normen

### 6.1 DIN EN ISO 1461

#### Durch Feuerverzinken auf Stahl aufgebrachte Zinküberzüge (Stückverzinken)

Die europaweit gültige DIN EN ISO 1461 [5] legt alle Anforderungen und Prüfungen fest, die an das Stückverzinken gestellt werden. Die Norm regelt die Anforderungen an Zinküberzüge, die diskontinuierlich hergestellt werden (z.B. Dicke des Zinküberzuges, Aussehen, Ausbesserungen), sie legt aber auch Prüfprozeduren fest, mit denen die Über-

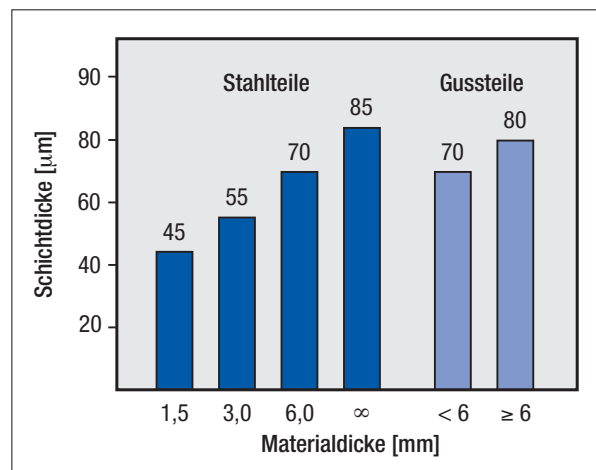


Abb. 29: Mindestschichtdicken in µm nach DIN EN ISO 1461

einstimmung des Produktes mit dieser Norm nachzuweisen ist (Abb. 29).

Die Norm gilt nicht für Verfahrensvarianten des Stückverzinkens, die in anderen Normen geregelt sind. So gilt z.B. für das Feuerverzinken von Stahlrohren für Installationszwecke die DIN EN 10240 und für feuerverzinkte Verbindungselemente die DIN EN ISO 10684. Darüber hinaus gibt es eine Anzahl von Produktnormen, die u.a. Festlegungen zum Feuerverzinken dieser Produkte treffen.

## 6.2 DIN EN ISO 14713

### Schutz von Eisen- und Stahlkonstruktionen vor Korrosion – Zink- und Aluminiumüberzüge – Leitfäden

Diese Norm [2] gibt Hinweise zum Korrosionsverhalten von Zinküberzügen an der Atmosphäre, in Wässern und in Böden. Sie gibt wichtige Hinweise zum feuerverzinkungsgerechten Konstruieren durch konkrete Ausführungsbeispiele. Der Planer erhält wichtige Informationen zur Auswahl eines geeigneten Schutzsystems für verschiedene Arten der Korrosionsbelastung.

## 6.3 DIN EN ISO 10684

### Verbindungselemente – Feuerverzinkung

Diese Norm [10] regelt das Feuerverzinken von Verbindungselementen (Regelgewinde M 8 bis M 64; Festigkeitsklasse bis einschließlich 10.9 für Schrauben und 12 für Muttern). Es handelt sich dabei um Verbindungsmittel, die unmittelbar nach dem Verlassen der Zinkschmelze zentrifugiert werden, um den Zinküberzug, vor allen Dingen im Bereich der Gewinde, in einem passfähigen Zustand zu erhalten. Die Mindestdicke des Zinküberzuges liegt – unabhängig von der Gewindeabmessung – bei 50 µm.

## 7 Literatur

[1] Maaß, P., Peißker, P.: Handbuch Feuerverzinken, Wiley-VCH Verlag, Weinheim, 3. Auflage, 2008

[2] DIN EN ISO 14713:1999 – Schutz von Eisen- und Stahlkonstruktionen vor Korrosion – Zink- und Aluminiumüberzüge – Leitfäden

[3] DIN EN 10327:2004-09 Kontinuierlich schmelztauchveredeltes Blech und Band aus weichen Stählen zum Kaltumformen – Technische Lieferbedingungen; Deutsche Fassung EN 10327:2004

[4] DIN EN 10326:2004-09 Kontinuierlich schmelztauchveredeltes Band und Blech aus Baustählen – Technische Lieferbedingungen; Deutsche Fassung EN 10326:2004

[5] DIN EN ISO 1461:1999 – Durch Feuerverzinken auf Stahl aufgetragene Zinküberzüge (Stückverzinken)

[6] Horstmann, D.: Der Ablauf der Reaktionen zwischen Eisen und Zink, Gemeinschaftsausschuss Verzinken e. V., Düsseldorf

[7] Orzessek et al.: Zinkabtrag deutlich vermindert, Zeitschrift Feuerverzinken, 1996-1, S. 10–12, Düsseldorf

[8] Hänsel, G.: Zur Ursache von extrem dicken und ungleichmäßigen Schichten bei der Feuerverzinkung, METALL 34 (1980) 9, S. 828–833

[9] Knotková, D., Porter, F. C.: Proceedings of INTERGALVA 1994, Paris, EGGA, London

[10] DIN EN ISO 10684 Verbindungselemente – Feuerverzinkung

[11] Glinde, H., Marberg, D.: Feuerverzinkte Konstruktionen – Tipps für Anwender, Minithek Metallbau- & Aluminium Kurier, 1999

[12] Arbeitsblätter Feuerverzinken, Institut Feuerverzinken GmbH, Düsseldorf, 2007

[13] DIN EN ISO 12944:1998 Korrosionsschutz von Stahlbauten durch Beschichtungssysteme

[14] Verbände-Richtlinie „Duplex-Systeme“, Düsseldorf, 2000



Abb. 30: Killesbergturm, Stuttgart (Foto: avcommunication, Ludwigsburg)



**Stahl-Informations-Zentrum  
im Stahl-Zentrum**

Postfach 10 48 42 · 40039 Düsseldorf  
Sohnstraße 65 · 40237 Düsseldorf  
E-Mail: [siz@stahl-info.de](mailto:siz@stahl-info.de) · [www.stahl-info.de](http://www.stahl-info.de)