



Merkblatt TK 003

Feuerverzinken und Duplex-Systeme

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3	7	Beschichtungen	17
			7.1	Informationspflicht	17
			7.2	Beschichtungsgerechte Konstruktion	17
			7.3	Feinverputz	18
			7.4	Abnahmeprüfung nach dem Feinverputz	18
			7.5	Richtarbeiten und sonstige Nachbearbeitungen	18
			7.6	Vermeidung von Kondensation nach dem Verzinken	18
			7.7	Vorbehandlung der Zinkoberfläche	19
			7.8	Beschichtung	19
			7.9	Reparatur von organischen Beschichtungen	19
2	Begriffe	3	8	Korrosionsschutz	19
2.1	Feuerverzinken	3	8.1	Grundsätzliches	19
2.2	Duplex-System	3	8.2	Korrosionsschutzplanung	20
2.3	Weissrost	3	8.3	Schutzdauer einer Feuerverzinkung in unterschiedlichen Umgebungen	21
2.4	Feinverputz	3	8.4	Korrosionsschutz durch Beschichtungssysteme	22
2.5	Sweepen	3	8.5	Wirkungsweise von Duplex-Systemen	22
2.6	Chromatieren	4	8.6	Schutzdauer von Duplex-Systemen	22
2.7	Chemische Vorbehandlung	4	8.7	Verbindungsmittel	23
2.8	Organische Beschichtung	4			
2.9	Pulverbeschichtung	4	9	Visuelle Beurteilungen von Duplexoberflächen	23
2.10	Nasslack	4	10	Ausschreibung und Auftragserteilung	25
2.11	Verseifung	4			
2.12	Korrosivitätskategorie	4	11	Reinigung und Instandhaltung	25
2.13	Schutzdauer	4			
3	Geltende Normen, Merkblätter, Richtlinien	4			
4	Feuerverzinken	5			
4.1	Voraussetzungen	5			
4.2	Werkstoff	5			
4.3	Bestellhinweise	6			
4.4	Andere Stähle	7			
4.5	Dicke von Zinküberzügen	7			
4.6	Eigenschaften von Zinküberzügen	7			
4.7	Abkühlung und Lagerung	7			
5	Verzinkungsgerechte Konstruktion	7			
5.1	Badabmessungen, Stückgewicht	8			
5.2	Sperrige Teile	8			
5.3	Mehrfachtauchung	8			
5.4	Aufhängungen	8			
5.5	Werkstoffdicken	10			
5.6	Rohr-Konstruktionen	11			
5.7	Kaltumformen	12			
6	Verzinkungsgerechte Fertigung	13			
6.1	Überlappungen	13			
6.2	Eigenspannung und Verzug	14			
6.3	Schweissen vor dem Feuerverzinken	14			
6.4	Zusätzliche Aspekte	15			
6.5	Oberflächenvorbereitung	16			
6.6	Reparaturen von Zinkschichten	16			

1 Einleitung

Ungeschützter Stahl ist in der Atmosphäre, im Wasser und im Erdreich einer Korrosionsbeanspruchung ausgesetzt, die zu Schäden führen kann. Daher müssen Stahlteile derart geschützt werden, dass während der vorgesehenen Nutzungsdauer Korrosionsschäden vermieden werden.

Feuerverzinken ist das weitaus gebräuchlichste Verfahren, um Erzeugnisse und Bauteile aus Stahl mit einem metallischen Überzug gegen Korrosion zu schützen. Es wird eingesetzt, wenn ein dauerhafter Korrosionsschutz für Jahrzehnte erzielt werden soll.

Eine Beschichtung der Feuerverzinkung (Duplex-System) erhöht die Korrosionsbeständigkeit weiter und eröffnet zusätzliche Gestaltungsmöglichkeiten.

Dieses Merkblatt soll den beteiligten Planern und Unternehmen sowie dem Bauherrn in kompakter Form wichtige Informationen zum Korrosionsschutz von Stahl durch Feuerverzinkung und Duplex-Beschichtungssysteme zur Verfügung stellen.

Dabei werden auch mögliche Unregelmässigkeiten bei Feuerverzinkungen und Duplexsystemen betrachtet, welche immer wieder zu Meinungsverschiedenheiten zwischen Auftraggeber und Ausführenden Anlass geben.

2 Begriffe

2.1 Feuerverzinken

Unter dem Begriff Feuerverzinken werden das Stückverzinken nach SN EN ISO 1461 und das Bandverzinken verstanden, das auch als kontinuierliches Feuerverzinken oder Sendzimiervzinken bekannt ist. 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 wechselseitigen Austausch 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. Es ist aber auch möglich, dass der gesamte Überzug nur aus Eisen-Zink-Legierungsschichten besteht. Das Aussehen solcher Stahlteile ist dann matt, grau und etwas rauer. Ein grosser Unterschied besteht zwischen den eingangs erwähnten Verfahren in der Schichtdicke. Während mittels Bandverzinken lediglich eine Schichtdicke von 7 bis 30 Mikrometer erreicht wird, werden beim Stückverzinken nach SN EN ISO 1461 Schichtdicken zwischen 50 und 150 Mikrometer, bei massiven Stahlbauteilen auch weit über 200 Mikrometer erreicht.

Durch das Tauchen in flüssigem Zink werden auch korrosionsgefährdete Bereiche wie Hohlräume, Winkel und schlecht zugängliche Stellen gut geschützt.

Die Zinkschmelze muss gemäss Norm SN EN ISO 1461 hauptsächlich aus Zink bestehen und die Summe der Begleitelemente darf 1,5 Massen-% nicht übersteigen.

2.2 Duplex-System

Korrosionsschutz-System, das aus einer Verzinkung in Kombination mit einer oder mehreren nachfolgender organischen Beschichtung(en) besteht.

Duplex-Systeme werden aus gestalterischen Gründen sowie bei hoher Korrosionsbelastung eingesetzt.

2.3 Weissrost

Weisse bis dunkelgraue Korrosionsprodukte (hauptsächlich Zinkhydroxid und geringe Anteile aus Zinkoxid und Zinkcarbonat) auf der Zinkoberfläche.

Leichte Weissrostbildung tritt auf wenn Feuchtigkeit oder Kondensation kurzzeitig auf frisch verzinkte Oberflächen einwirken kann und danach wieder abtrocknet. Geringe Mengen an Weissrost werden nach Fortfall der Bedingungen in eine, das Zink schützende Deckschicht umgewandelt. Eine leichte Weissrostbildung ist zwar weitgehend harmlos, kann jedoch negative Auswirkung auf die Qualität des Duplex-Systems haben und bei der Vorbehandlung schwierig zu entfernen sein.

Starke Weissrostbildung tritt bei andauernder und intensiver Befeuchtung ohne ausreichenden Luftzutritt auf. Sie kann zu einer Schädigung bis hin zu einer lokalen Zerstörung der Zinkschicht führen.

Ohne spezielle Vereinbarung zwischen Auftraggeber und Verzinker ist die Ausbildung von Weissrost gemäss der Norm SN EN ISO 1461:2009 kein Grund zur Zurückweisung, sofern der geforderte Mindestwert der Dicke des Zinküberzugs noch vorhanden ist.

2.4 Feinverputz

Zusätzlich zur generell nach SN EN ISO 1461 erforderlichen Reinigung des Zinküberzugs (Entfernung von Zinkascheresten, Flussmittelrückständen, Zinkspitzen) ist für die Beschichtung eine Feinreinigung – «Feinverputz»- erforderlich. Das Feinverputzen und Verschlichten erfolgt an Bereichen des Zinküberzugs, die zu einem schlechten dekorativen Aussehen der Oberfläche führen, wie z.B. Hartzinkeinschlüsse, Zinkverdickungen, Zinktropfen, Walzfehler und Zinkläufe.

Schweissnähte werden nur auf Verlangen plangeschliffen, da dabei die Zinklegierungen verletzt werden können, was eine Qualitätsminderung darstellt.

2.5 Sweepen

Mechanische Vorbehandlung für die nachfolgende Beschichtung.

Schonendes Strahlen mit nichtmetallischen Strahlmitteln zum Reinigen und Aufräumen der Zinkoberfläche.

Sweepen oder Sweep-Strahlen wird auch als Feinstrahlen oder Staubstrahlen bezeichnet.

Das Sweepen muss sanft, im Abstand von mindestens 60 cm, bei einem Strahlwinkel von 50 bis 70 Grad und mit einem Luftdruck von bis max. 3 bar erfolgen.

Die gesweepete Oberfläche muss ein gleichmässig mattes Aussehen haben.

Nach dem Sweepen sind die Bauteile innert 12 Stunden zu beschichten.

2.6 Chromatieren

Chemische Vorbehandlung für die nachfolgende Beschichtung. Diese im Werk durchzuführende Vorbehandlung umfasst folgende Schritte: Entfetten, Spülen, Beizen, Spülen, Chromatieren, Spülen, Spülen mit vollentsalztem Wasser, Trocknen. Aus ökologischen Gründen sind Cr(VI)-freie Verfahren einzusetzen.

Chromatierte Bauteile sind unmittelbar nach dem Chromatieren zu beschichten.

2.7 Chemische Vorbehandlung

Eine chemische Vorbehandlung muss entsprechend den Vorschriften des Lieferanten der eingesetzten Chemikalien durchgeführt werden. Der Beschichter muss jede passivierte Oberfläche vor der weiteren Bearbeitung entfernen.

2.8 Beschichtung

Organische Beschichtung eines Duplex-Systems. Diese kann ein- oder mehrschichtig und als Pulverbeschichtung oder als Nasslack ausgeführt werden.

2.9 Pulverbeschichtung

Ein Beschichtungsverfahren bei dem ein elektrisch leitfähiger Werkstoff mit Pulverlack beschichtet wird. Das Pulver wird dazu elektrisch aufgeladen und nach der Applikation bei einer Temperatur von ca. 160 bis 200°C im Ofen zu einem geschlossenen Film geschmolzen und chemisch vernetzt.

Die Pulverbeschichtung ist meist schlagfester, schneller in der Anwendung, wirtschaftlicher und ökologischer als eine Nasslackbeschichtung.

2.10 Nasslack

Flüssigbeschichtung, welche durch Verdampfen des Lösungsmittels oder durch chemische Reaktion aushärtet. Nasslacke gibt es als Einkomponentensystem (1K-Lack) oder Zweikomponentensystem (2K-Lack). Je nach Bindemittel härten Nasslacke bei Raumtemperatur oder im Ofen bei unterschiedlichen Temperaturen aus.

2.11 Verseifung

Langölige Alkydharze, wie sie als Bindemittel für Malerlack verwendet werden, spalten beim Trocknungsprozess freie Fettsäuren ab, welche durch die zumeist dünn-schichtigen einkomponentigen Grundierungen dringen und an der Zinkoberfläche mit Zink-Ionen, Zinksalzen reagieren und verseifen, somit eine Trennschicht bilden und den Anstrichaufbau enthaften.

Begünstigt oder beschleunigt wird dieser Prozess durch Feuchtigkeit.

Bei alkydharzhaltigen Beschichtungssystemen muss eine Verseifung mittels einer geeigneten Grundierung unterbunden werden.

2.12 Korrosivitätskategorie

Die atmosphärischen Umgebungsbedingungen werden nach ISO 9223 in folgende sechs Korrosivitätskategorien eingeteilt:

- C1 unbedeutende Korrosivität
- C2 geringe Korrosivität
- C3 mässige Korrosivität
- C4 starke Korrosivität
- C5 sehr starke Korrosivität
- CX extreme Korrosivität

Zur Bestimmung der Korrosivitätskategorie wird die Auslagerung von Standardproben empfohlen. In der Tabelle 1 der Norm SN EN ISO 12944-1 (siehe Seite 25) werden die Korrosivitätskategorien auf Grundlage von Massen- oder Dickenabnahmen solcher Standardproben aus niedriglegiertem Stahl und/oder Zink nach dem ersten Jahr der Auslagerung festgelegt und zu jeder Korrosivitätskategorie typische innere und äussere atmosphärische Umgebungen beschrieben (siehe 8.2 Korrosionsschutzplanung).

2.13 Schutzdauer

Die Schutzdauer gibt den Zeitraum bis zur ersten erforderlichen Instandsetzung bzw. Erneuerung einer Beschichtung an.

Die Schutzdauer von Duplex-Beschichtungen bezieht sich ausschliesslich auf die organische Beschichtung und deren Haftfestigkeit auf der Feuerverzinkung. Die Schutzdauer eines Duplex-Systems ist je nach Aufbau um den Faktor 1,2 bis 2,5 länger als die Summe der jeweiligen Einzelschutzdauer der Feuerverzinkung und der Beschichtung. Die Schutzdauer einer Feuerverzinkung ist um ein Vielfaches länger als die Schutzdauer einer Beschichtung.

Die Schutzdauer ist keine «Gewährleistungszeit». Die Schutzdauer ist ein technischer Begriff, der dem Auftraggeber helfen kann, ein Instandsetzungsprogramm festzulegen. Die Gewährleistungszeit ist ein juristischer Begriff, der Gegenstand von Vertragsbedingungen ist. Die Gewährleistungszeit ist im Allgemeinen kürzer als die Schutzdauer. Es gibt keine Regeln, die beide Begriffe miteinander verbinden. Eine Instandsetzung kann aufgrund von Ausbleichen, Kreiden, Verunreinigung, Verschleiss, aus ästhetischen oder anderen Gründen bereits früher erforderlich sein, als es die angegebene Schutzdauer vorsieht.

3 Geltende Normen, Merkblätter, Richtlinien

- SN EN 1090-11+A1:2011, Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken – Teil 1: Konformitätsnachweisverfahren für tragende Bauteile
- SN EN 1090-11+A1:2011, Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken – Teil 2: Technische Regeln für die Ausführung von Stahltragwerken
- SN EN ISO 1461:2009, Durch Feuerverzinken auf Stahl aufgebrauchte Zinküberzüge (Stückverzinken) – Anforderungen und Prüfungen
- SN EN 10025-1 bis -5:2004 und -6+A1:2009, Warmgewalzte Erzeugnisse aus Baustählen
- SN EN ISO 8501-1 bis -4:2008, Vorbereitung von Stahloberflächen vor dem Auftragen von Beschichtungsstoffen – Visuelle Beurteilung der Oberflächenreinheit
- SN EN 15773:2018, Industrielle Pulverbeschichtung von feuerverzinkten und sherardisierten Stahlartikeln [Duplex-Systeme] – Spezifikationen, Empfehlungen und Leitlinien

- SN EN ISO 12944-2:2017, Beschichtungssysteme – Korrosionsschutz von Stahlbauten durch Beschichtungssysteme – Teil 2: Einteilung der Umgebungsbedingungen
- SN EN ISO 12944-3:2017, Beschichtungssysteme – Korrosionsschutz von Stahlbauten durch Beschichtungssysteme – Teil 3: Grundregeln zur Gestaltung
- SN EN ISO 12944-4:2017, Beschichtungssysteme – Korrosionsschutz von Stahlbauten durch Beschichtungssysteme – Teil 4: Arten von Oberflächen und Oberflächenvorbereitung
- SN EN ISO 12944-5:2018, Beschichtungssysteme – Korrosionsschutz von Stahlbauten durch Beschichtungssysteme – Teil 5: Beschichtungssysteme
- EN ISO 14713-1:2017, Zinküberzüge – Leitfäden und Empfehlungen zum Schutz von Eisen- und Stahlkonstruktionen vor Korrosion – Teil 1: Allgemeine Konstruktionsgrundsätze und Korrosionsbeständigkeit
- EN ISO 14713-2:2009, Zinküberzüge – Leitfäden und Empfehlungen zum Schutz von Eisen- und Stahlkonstruktionen vor Korrosion – Teil 2: Feuerverzinken
- DIN 55633:2009, Beschichtungssysteme – Korrosionsschutz von Stahlbauten durch Pulver-Beschichtungssysteme – Bewertung der Pulver-Beschichtungssysteme und Ausführung der Beschichtung
- Merkblatt TK 001 Metaltec Suisse – Korrosionsschutz von Stahlbauteilen bei Balkonen und Terrassen im Zusammenhang mit Plattenböden

4 Feuerverzinken

Diskontinuierliches Feuerverzinken – das Stückverzinken – ist das Aufbringen eines Zinküberzuges auf Stahl oder Gussteile durch Eintauchen der vorbereiteten Werkstücke in geschmolzenes Zink. Dabei werden die Bauteile auf die Zinkbadtemperatur von ca. 450 °C erwärmt und es bildet sich auf deren 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.

Das Feuerverzinken (Stückverzinken) ist in der Norm SN EN ISO 1461 geregelt.

Zusätzliche Hinweise zum Verfahren und zur Gestaltung des Verzinkungsguts finden sich in der Norm SN EN ISO 14713 Teil 1 und 2.

4.1 Voraussetzungen

Unabdingbare Voraussetzung für ein einwandfreies Verzinkungsergebnis sind u.a. folgende Parameter:

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

4.2 Werkstoff

Grundsätzlich lassen sich alle gängigen Baustahlsorten 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 negativen Einfluss auf die Korrosionsbeständigkeit, jedoch auf das Aussehen 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 der damit verbundenen, unterschiedlichen Eisen-Zink-Reaktion, zu einem variierenden Erscheinungsbild der Feuerverzinkung oder eingeschränkter Festigkeit innerhalb eines Bauteils führen. Gleiches gilt auch, wenn innerhalb einer Stahlkonstruktion aus normalem Baustahl einzelne Elemente aus Guss, nichtrostendem Stahl oder anderen Metallen mitverarbeitet 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 bzw. Materialprüfstelle erforderlich. Gemäss Norm EN 1993-1-4:2006 Eurocode3-Bemessung von Konstruktion von Stahlbauten Teil 1–4 (Ergänzende Regeln zur Anwendung von nichtrostenden Stählen) Kapitel A.5-Verzinkung und Kontakt mit geschmolzenem Zink, ist das Feuerverzinken von Bauteilen aus nichtrostendem Stahl nicht zulässig, da der Kontakt mit geschmolzenem Zink zu Wasserstoffversprödung führen kann. Vorsichtsmassnahmen sollten getroffen werden, um sicherzustellen, dass im Fall eines Brandes kein geschmolzenes Zink vom verzinkten Stahl auf den nichtrostenden Stahl tropfen oder laufen kann und damit eine Versprödung verursacht. Zusätzlich besteht das Risiko von Versprödung, wenn ein Bauteil aus nichtrostendem Stahl mit einem Baustahl verbunden und anschliessend feuerverzinkt wird.

Die Normen unterscheiden folgende Baustahl-Klassen bzw. -Kategorien in Bezug auf die Verzinkbarkeit:

SN EN 10025-2:2004 Warmgewalzte Erzeugnisse aus Baustählen – Teil 2: Technische Lieferbedingungen für unlegierte Baustähle				
Klasse	Silizium	Si+2,5P	Phosphor	Verzinkungseignung
1	≤ 0,030 %	≤ 0,090 %	–	Ja
2	≤ 0,35 %	–	–	Nur für spezielle Zinklegierungen geeignet
3	0,14 % ≤ 0,25 %	–	≤ 0,035 %	Ja

SN EN ISO 14713-2:2009 Zinküberzüge – Leitfäden und Empfehlungen zum Schutz von Eisen- und Stahlkonstruktionen vor Korrosion – Teil 2: Schmelztauchverzinken				
Kategorie	Silizium, Phosphor	Bezeichnung	Verzinkungseignung	Typische Überzugeigenschaften
A	≤ 0,04 % Si und < 0,02 % P	Niedrigsilizium-Bereich	Ja	Silbrig-glänzendes Aussehen mit feiner Textur; niedrige Schichtdicke
B	> 0,14 % bis ≤ 0,25 % Si	Sebistyl-Bereich	Ja	Silbrig-glänzendes bis mattes Aussehen; mittlere Schichtdicke
C	> 0,04 % bis ≤ 0,14 % Si	Sandelin-Bereich	Nein	Graues, mattes Aussehen mit gröberer Textur; sehr hohe Schichtdicke; verringerte Beständigkeit der Zinkschicht gegen mechanische Beschädigung.
D	≥ 0,25 % Si	Hochsilizium-Bereich	Bedingt	Graues, mattes Aussehen mit gröberer Textur; hohe bzw. ab 0,35 % Si sehr hohe Schichtdicke; verringerte Beständigkeit der Zinkschicht gegen mechanische Beschädigung.

Die Übergänge zwischen den verschiedenen Bereichen sind fließend und auch abhängig von der Art der Konstruktion, der Temperatur der Zinkschmelze, vom Vorhandensein von Legierungselementen in der Zinkschmelze, der Tauchdauer und der Beschaffenheit der Stahloberfläche.

Je nach Verfügbarkeit sollte für feuerverzinkte Stahlkonstruktionen möglichst nur Baustahl der Klassen 1 und 3 bzw. der Kategorien A und B eingesetzt werden. Eine silbrig glänzende Oberfläche mit Zinkblumen wird nur mit der Klasse 1 bzw. der Kategorie A erreicht. Baustähle der Klasse 3 bzw. der Kategorie B ergeben zwar etwas mattere, dafür dickere Zinkschichten.

Ebenso ist Schweißgut mit niedrigerem Silizium- und Phosphorgehalt zu verwenden, damit die Schweißnähte beim Verzinken nicht zu viel Zink auftragen und eine normale, silbrig glänzende Eisen-Zink-Reaktion entstehen kann.

Zur Vermeidung von Sprödbrüchen ist im Weiteren darauf zu achten, dass der Stahl maximal 0,05% Kupfer enthält.

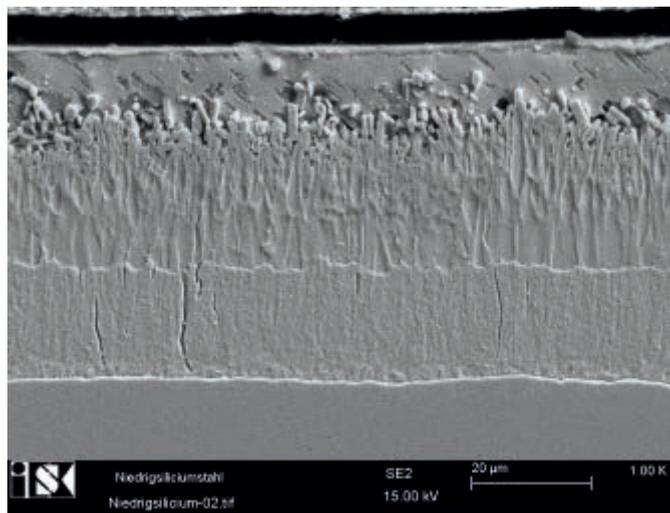


Abb. 3: Schliffbild eines feuerverzinkten Stahls; IKS Dresden

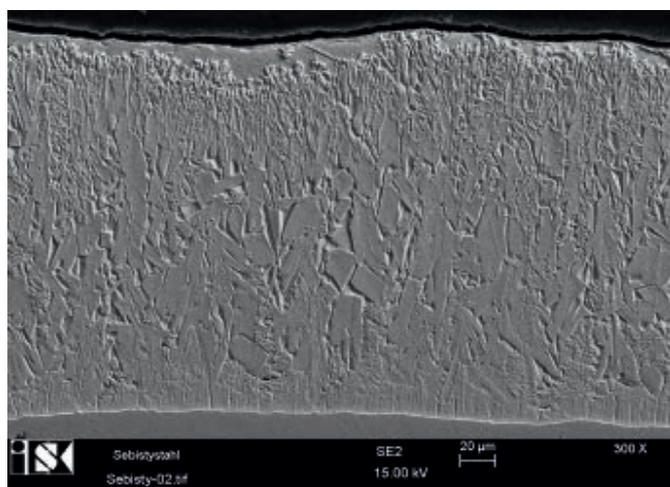


Abb. 4: Schliffbild feuerverzinkten Stahls mit typischem Schichtaufbau mit durchgewachsener Fe+Zn-Legierungsschicht; IKS Dresden

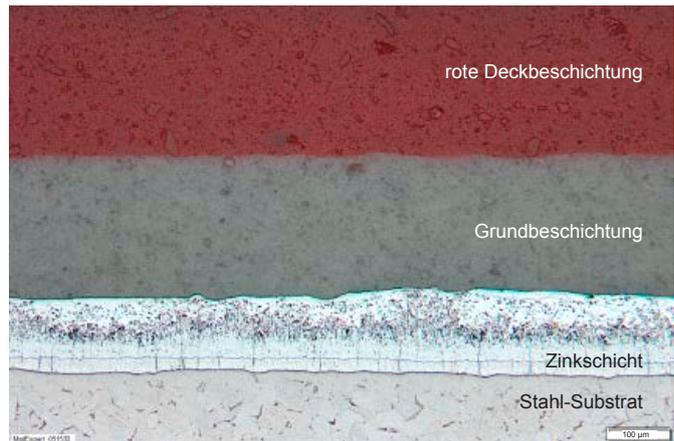


Abb 5: Duplexaufbau Korrosivitätskategorie C4

4.3 Bestellhinweise

Die Feuerverzinkerei hat kaum eine Möglichkeit, das durch die Stahlzusammensetzung bedingte extreme Wachstum der Eisen-Zink-Legierungsschichten zu beeinflussen. Aus diesem Grund kommt der Auswahl von Stählen, die für das Feuerverzinken gut geeignet sind, eine besondere Bedeutung zu. Die Normenreihe SN 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».

Zur Vermeidung von Sprödbrech ist beim Stahleinkauf zudem darauf zu achten, dass der CU-Gehalt unter 0,05% liegt.

Bei jeder Stahlbestellung für feuerverzinkte Konstruktionen ist daher die Option «Stahl geeignet für Schmelztauchverzinkung nach SN EN 10025» zu deklarieren. Nach dieser Vorgabe darf der Stahlhändler nur Stahl der Klasse 1 oder 3 gemäss SN EN 10025 liefern. Falls ausschliesslich Stahl z.B. der Klasse 1 gefordert wird, ist die Verfügbarkeit vorab mit dem Stahlhändler zu klären.

Für ein optimales Verzinkungsergebnis empfiehlt es sich, Stahl der Kategorie A oder B nach Tabelle 1 SN EN ISO 14713-2:2009 Zinküberzüge – Leitfäden und Empfehlungen zum Schutz von Eisen- und Stahlkonstruktionen vor Korrosion – Teil 2: Schmelztauchverzinken zu beschaffen.

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

4.4 Andere Stähle

Die vorstehenden Aussagen gelten primär für Stähle im Rahmen der Normenreihe SN EN 10025. Sollen Stähle ausserhalb dieser Normen feuerverzinkt werden, sind unter Umständen besondere Abstimmungen mit der Verzinkerei erforderlich und muss die Eignung für eine Schmelztauchverzinkung vorab mittels Muster geklärt werden. Das gilt besonders für Edelstähle und hochfeste Stähle (z.B. hochfeste, vergütete oder thermomechanisch behandelte Feinkornbaustähle). Hierüber muss die Verzinkerei bei der Auftragserteilung unbedingt schriftlich informiert werden.

Zur Feuerverzinkung und Oberflächenvorbereitung von Gussteilen siehe Norm SN EN ISO 14713-2.

4.5 Dicke von Zinküberzügen

Gemäss der Norm SN EN ISO 1461:2009 liegt die durchschnittliche Mindestschichtdicke von Zinküberzügen je nach Materialstärke zwischen 45 und 85 µm. In der Praxis sind die Zinküberzüge in Abhängigkeit von der Stahlzusammensetzung, Materialdicke, Tauchdauer und anderen Parametern meist dicker.

Mindestschichtdicken nach SN EN ISO 1461:2009: für **nicht** geschleuderte Stahlteile

Materialdicke (mm)	Durchschnittliche Zink-Schichtdicke (Mindestwert) (µm)	Örtliche Mindestzink-Schichtdicke (µm)
< 1,5	≥ 45	35
≥ 1,5 bis < 3	≥ 55	45
≥ 3 bis < 6	≥ 70	55
≥ 6	≥ 85	70

Mit der Verzinkerei können aber auch höhere Mindestschichtdicken vereinbart werden, soweit technisch möglich. Die Prüfung der Dicke der Zinküberzüge hat gemäss der Norm SN EN ISO 1461 zu erfolgen.

Mindestschichtdicken nach SN EN ISO 1461:2009 für **geschleuderte** Stahlteile

Materialdicke (mm)	Durchschnittliche Zink-Schichtdicke (µm)	Örtliche Mindestzink-Schichtdicke (µm)
< 3,0	≥ 45	35
≥ 3	≥ 55	45

4.6 Eigenschaften von Zinküberzügen

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

Die mechanische Belastbarkeit und der Kantenschutz einer Feuerverzinkung ist gegenüber einer Farbbeschichtung um den Faktor 8 bis 20 höher.

Gemäss der Norm SN EN ISO 1461:2009 müssen alle wesentlichen Flächen, bei erster Betrachtung mit dem unbewaffneten Auge im Abstand von min. 1 m, frei von Verdickungen/Blasen (z.B. erhabenen Stellen ohne Verbindung zum Metalluntergrund), rauen Stellen, Zinkspitzen (falls sie eine Verletzungsgefahr darstellen) und Fehlstellen sein.

Flussmittelrückstände sind nicht zulässig. Auch Zinkverdickungen und Zinkascherückstände sind unzulässig, falls sie den bestimmungsgemässen Gebrauch des Bauteils oder die Korrosionsschutzanforderung beeinträchtigen.

Folgende Eigenschaften sind hingegen kein Grund zur Zurückweisung:

- Das Auftreten von dunkleren oder helleren Bereichen (z.B. netzförmiges Muster oder dunkelgraue Bereiche)
- Geringe Oberflächenunebenheiten
- Die Ausbildung von (weisslichen oder dunklen) Korrosionsprodukten, überwiegend bestehend aus Zinkoxid (entstanden durch eine falsche Lagerung unter feuchten Bedingungen nach dem Feuerverzinken), sofern der geforderte Mindestwert der Dicke des Zinküberzugs noch vorhanden ist.

Teile, die die visuelle Prüfung nicht bestehen, sind nach Ziffer 6.6 nachzubessern oder müssen neu feuerverzinkt werden mit anschliessender erneuter Prüfung.

Der Hauptzweck des Zinküberzugs ist der Korrosionsschutz. Aussehen und dekorative Eigenschaften des Zinküberzugs sollten zweitrangig sein. Falls diese zweitrangigen Eigenschaften von Bedeutung sind (z.B. bei anschliessender Pulverbeschichtung), wird dringend empfohlen, eine Vereinbarung zwischen Auftraggeber und Verzinker hinsichtlich der erreichbaren Qualität der Oberfläche zu treffen, unter Berücksichtigung der verwendeten Werkstoffe.

Falls zusätzliche Anforderungen bestehen (z.B. wenn Zinküberzüge zusätzlich beschichtet werden sollen) oder eine Musteranfertigung gewünscht wird, muss der Verzinker vom Auftraggeber vorgängig schriftlich informiert werden.

4.7 Abkühlung und Lagerung

Abschrecken in Wasser wird nicht empfohlen, da im Falle von dickeren Bereichen von Legierungsüberzügen Sprödigkeit des Zinküberzuges verursacht werden kann. Ausserdem können später Probleme hinsichtlich der Haffestigkeit des Duplex-Systems auftreten.

Nach dem Abkühlen sollten die verzinkten Bauteile in einem trockenen Bereich gelagert und eine ausreichende Luftbewegung zwischen den Teilen sichergestellt werden, um die Entstehung unerwünschter Zinkkorrosionsprodukte zu vermeiden.

Zur Bündelung dürfen keine unbehandelten Stahlbänder verwendet werden.

5 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.

Die Bauteile sind so zu planen, dass nach dem Feuerverzinken möglichst keine Bearbeitungen, welche die Zinkschicht beschä-

digen können, wie Schweißen, Biegen, Bohren, Trennen, etc., mehr erforderlich sind.

5.1 Badabmessungen, Stückgewichte

Die Verzinkungsbäder in den einzelnen Betrieben haben unterschiedliche Grössen. Bei den maximalen Abmessungen der zu verzinkenden Teile, sind die 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 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 Verzinkerei frühzeitig abzustimmen.

5.2 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 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 zudem kostengünstiger und qualitativ besser feuerverzinken.

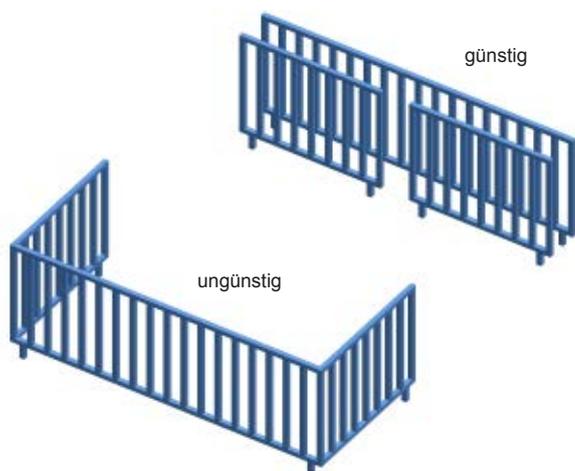


Abb. 5: Sperrige Teile vermeiden, sie verteuern das Verzinken und können die Verzinkungsqualität nachteilig beeinflussen

5.3 Mehrfachtauchungen

Durch zweimaliges oder mehrfaches Tauchen einzelner Bereiche kann erreicht werden, dass auch übergrosse Stahlteile, deren Feuerverzinkung in einem Arbeitsgang nicht möglich ist, einen Zinküberzug erhalten. Durch dieses mehrfache Tauchen ergibt sich jedoch eine ungleichmässige Erwärmung der Bauteile, was unter ungünstigen Bedingungen einen Verzug der Stahlteile bewirkt. Bis zum Erreichen der Zinkbadtemperatur dehnt sich ein Stahlteil um 4–8 mm je Laufmeter Bauteillänge aus. 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 Bauteiles 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 flexibel, 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 oder versteift, kann es in ungünstigen Fällen als Folge der hohen Verformungskräfte, die nicht ausgeglichen werden können, zu Verzug oder gar Rissbildung führen (Abb. 8). Hier kommt es besonders auf die konstruktive Ausbildung des Gesamtsystems und der Details (Anschlüsse, Querschnittausbildung) an, damit das Mehrfachtauchen komplizierter Konstruktionen problemlos funktioniert.

Der beim mehrfachem 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.

5.4 Aufhängungen

Die Aufhängung von Stahlteilen sollte stets an Stellen möglich sein, die gewährleisten, dass das flüssige Zink beim Herausziehen der Stahlteile aus dem Zinkbad problemlos abfliessen 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 der Aufhängepunkte gegebenenfalls berechnet werden.

Richtig angeordnete Aufhängungen erleichtern den Transport, die Montage und das Handling in der Feuerverzinkerei.

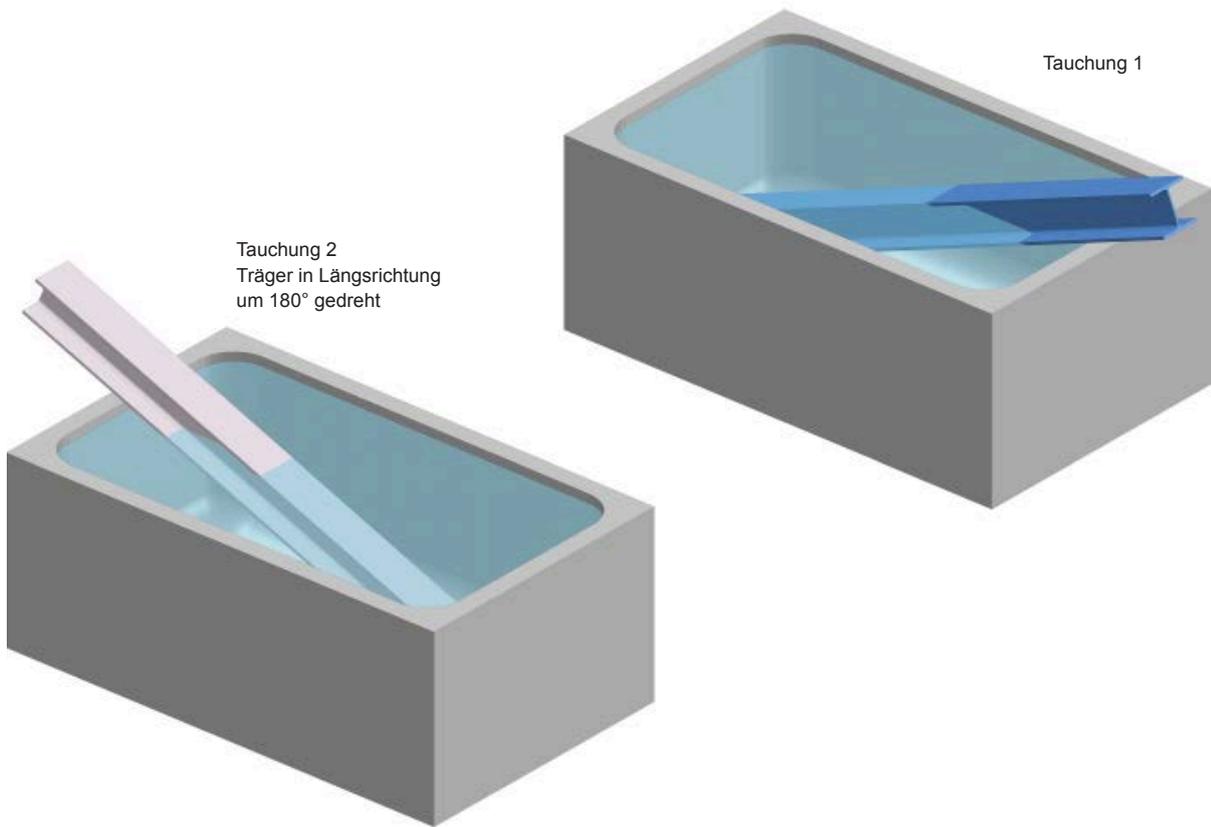


Abb. 6: Feuerverzinken von überlangen Teilen in 2 Teilschritten

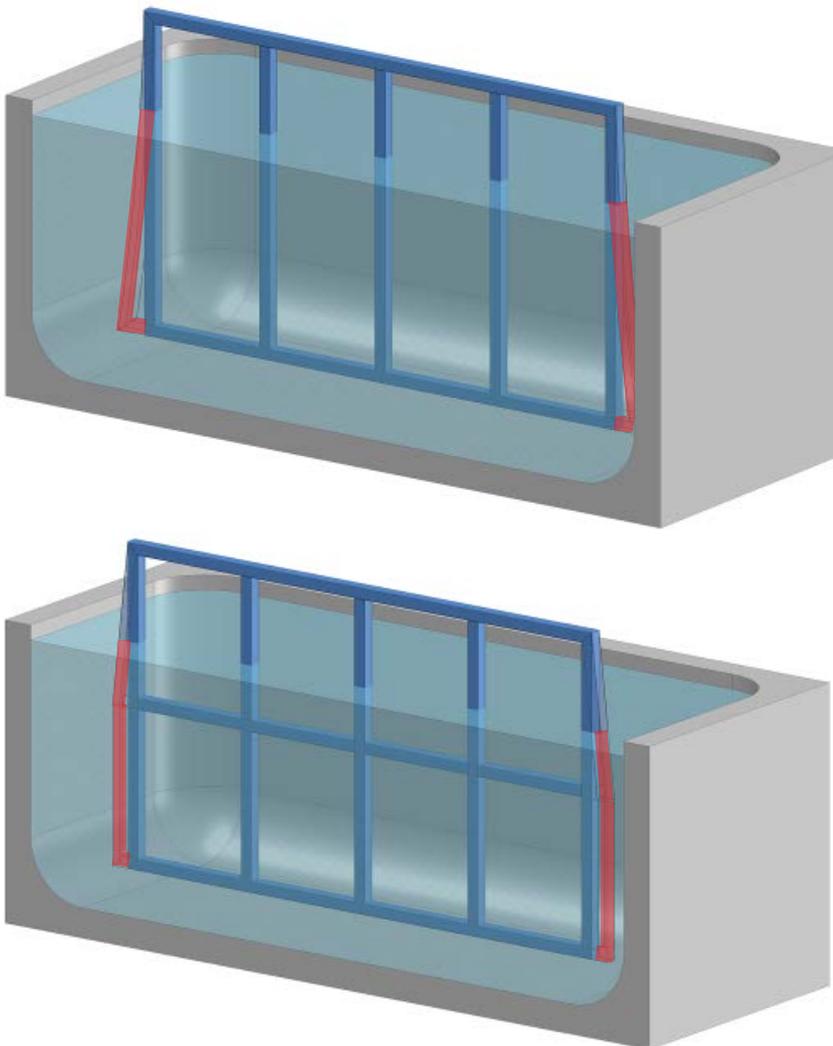


Abb. 7: Günstig (Wärmeausdehnung kann über einen langen Weg ausgeglichen werden). Verzinken mit zweimaligem Tauchen ohne Deformation möglich

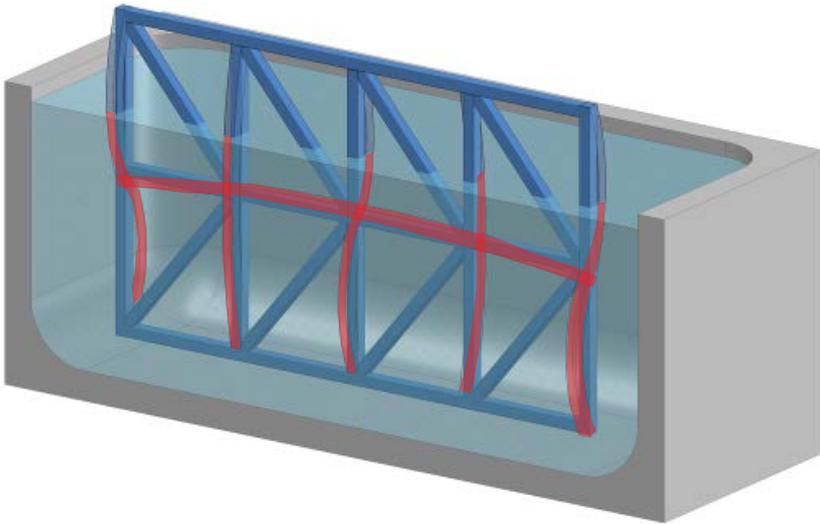


Abb. 8: Ungünstig – Rahmen mit Versteifung (Wärmedehnung kann nur über einen kurzen Weg ausgeglichen werden). Beim Verzinken von Rahmen mit Traversen können sich Deformationen bilden, wenn die Rahmenkonstruktion nicht ganz eingetaucht werden kann

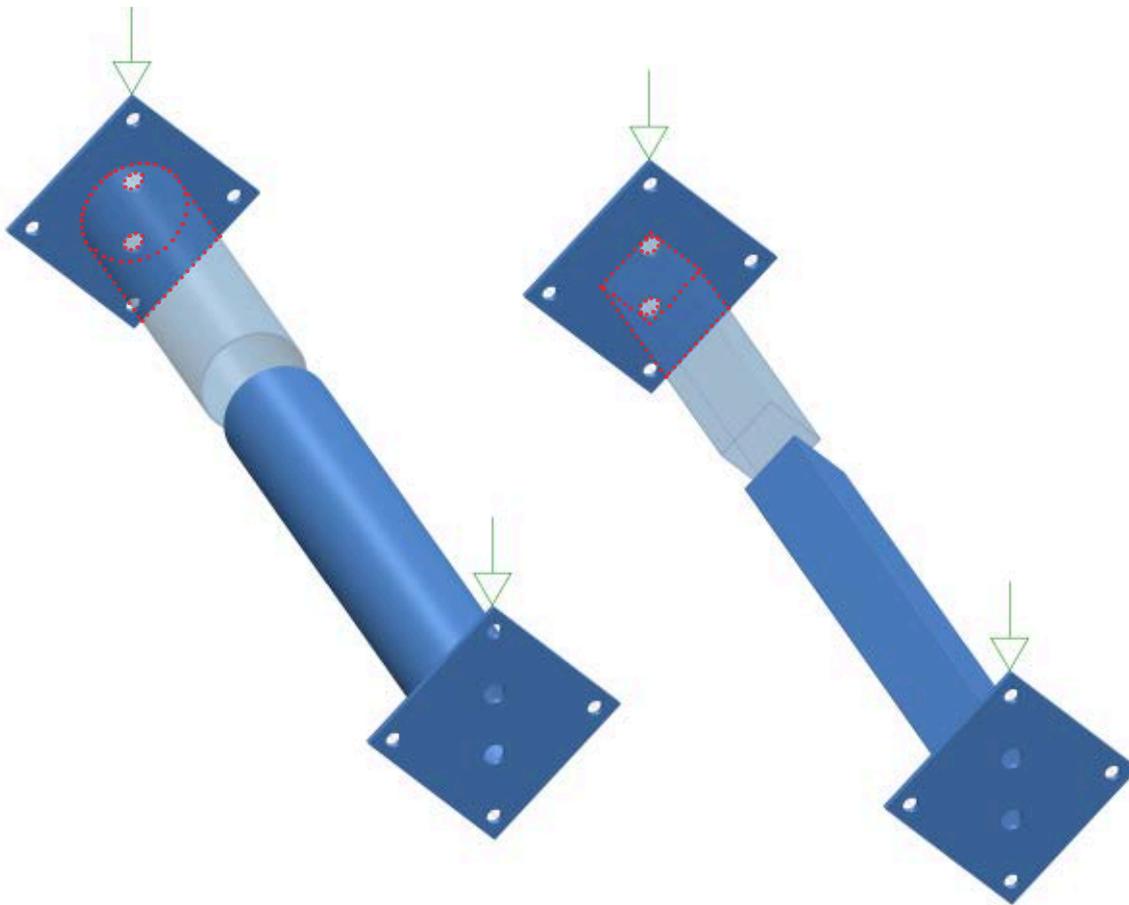


Abb. 9: Auf günstige und sichere Aufhängemöglichkeit und entsprechend angeordnete Durchflussöffnungen achten

5.5 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. Wo das nicht möglich ist, sollte darauf geachtet werden, dass die grösste zur kleinsten Werkstoffdicke ein Verhältnis von 5:1 nicht überschreitet, ansonsten mit Verzug gerechnet werden muss. Bei sehr ungünstigen Dickenverhältnissen sollte über eine lösbare Verbindung (z.B. Schraubverbindung) der einzelnen Elemente nachgedacht werden.

5.6 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. Verdampfende Feuchtigkeit kann bei der Erhitzung auf 450 °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 Ablauföffnungen 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



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

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.

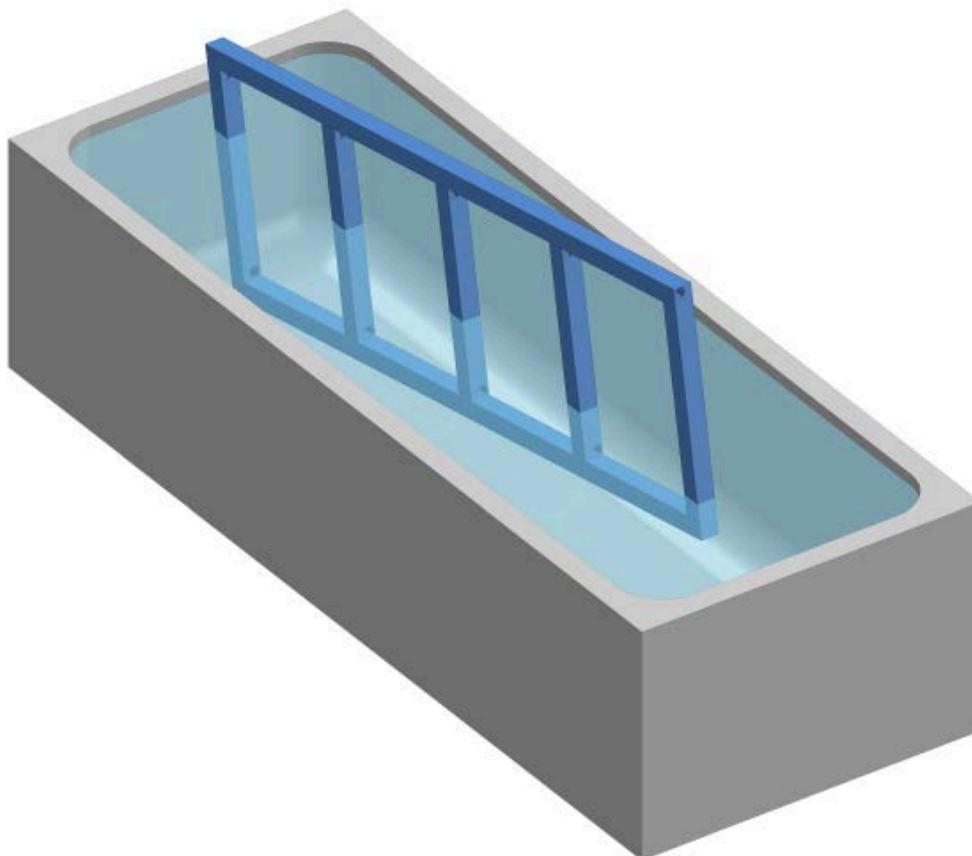


Abb. 11: Beim Verzinken bei Hohlräumen ist zu beachten, dass alle Entlüftungslöcher vorhanden sind

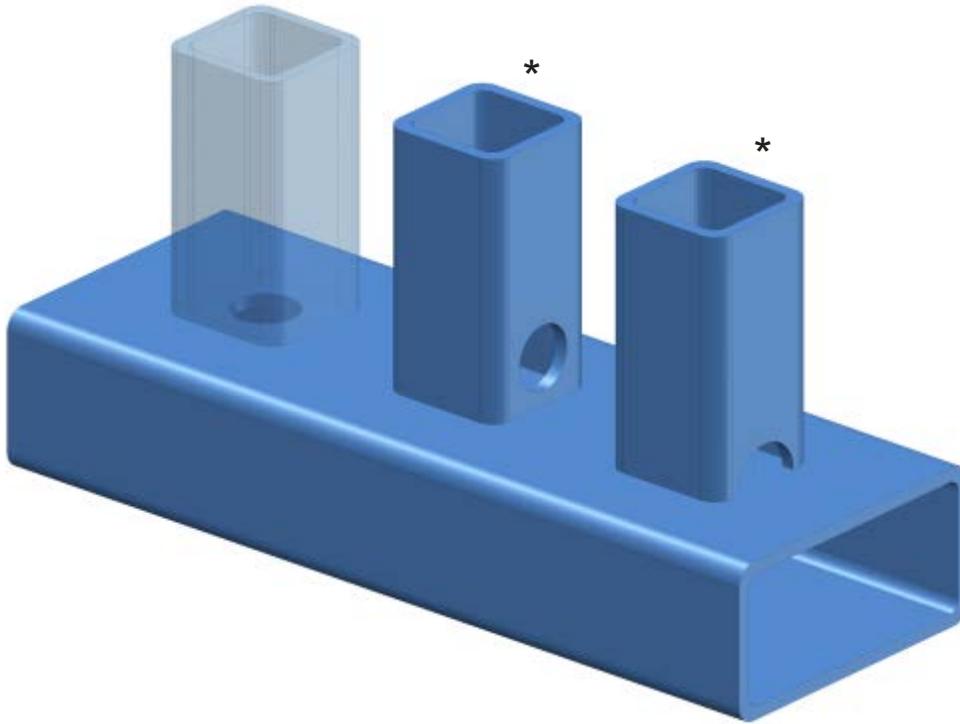


Abb. 11.1: * Die sichtbaren Entlüftungslöcher sind ungünstig, da Zinkschnäuze entstehen können

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 Entlüftungsbohrungen an Hohlprofilen. Die Mindestgrößen in der obenstehenden 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.

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.

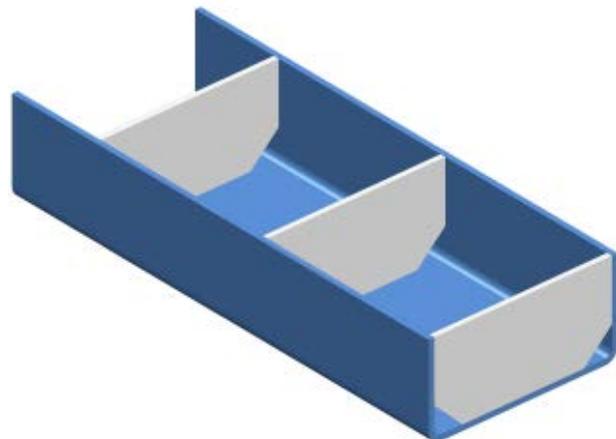


Abb. 13: Freischnitte in den Ecken sind zum vollständigen Ein- und Auslaufen des Zinks erforderlich

5.7 Kaltumformen

Ist im Rahmen der Fertigung eine Kaltumformung vorgesehen, so ist diese gemäss den in der Normenreihe SN EN 10025 angegebene Grenzwerte auszuführen.

Kaltumformen durch Biegen, Pressen, Abkanten, Tiefziehen etc. führt zu einer Verringerung der Duktilität. Dabei ist das Risiko einer Wasserstoffversprödung infolge der Säurebehandlung vor dem Feuerverzinken zu beachten.

EN ISO 14713-2:2009

Die Durchflussöffnungen sollten am Ende eines Bauteils einander diagonal gegenüberliegen, wie in Bild A.6 gezeigt. Die jeweils zu bevorzugende Variante sollte in Zusammenarbeit mit einem Feuerverzinkungsfachmann ausgewählt werden.

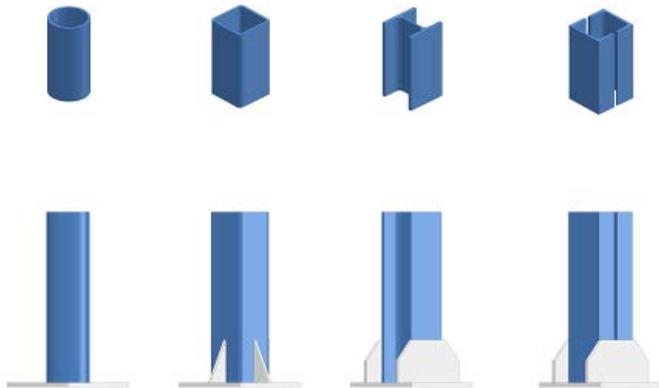


Bild A.6 – Unterschiedliche Ausführungen von an Fussplatten angebrachten Profilen für den Durchfluss und Entlüftung

Die Rissbildungsgefahr kann durch Zwischenglühen beim Kaltumformen und Spannungsarmglühen vor dem Beizen und Feuerverzinken verringert werden.

6 Feuerverzinkungsgerechte Fertigung

6.1 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. 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.

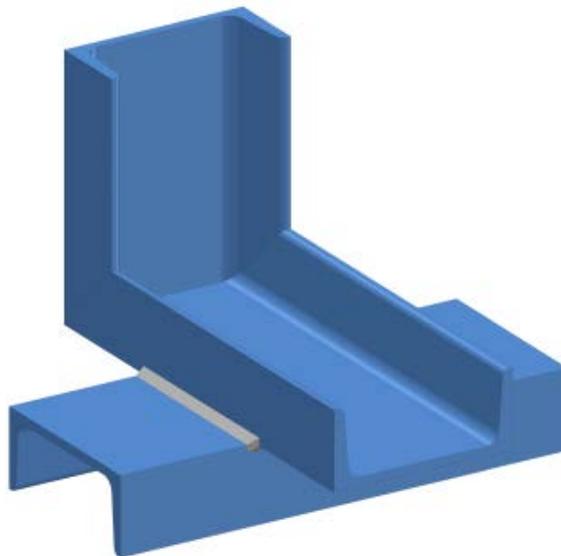


Abb. 14: Grossflächige Überlappungen bei Schweißkonstruktionen sind zu vermeiden. Alternativ sind die beiden Bauteile dicht zu verschweissen

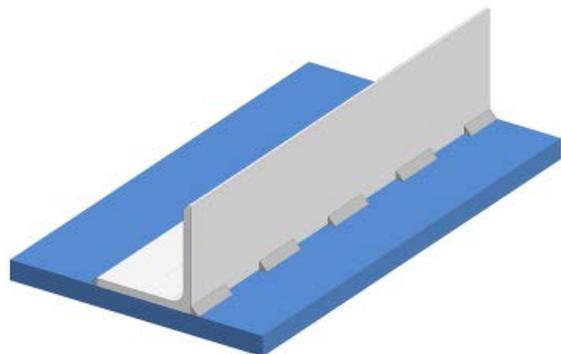


Abb. 14.1: Ungünstige Lösung, da nicht durchgeschweisst

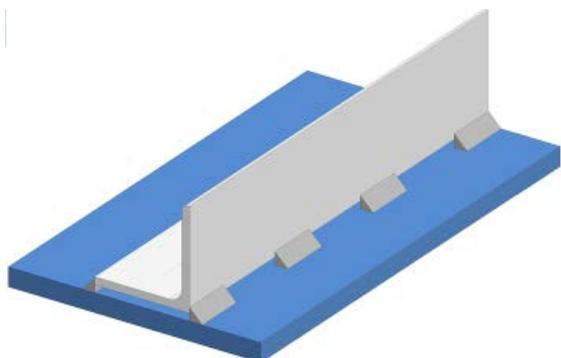


Abb. 14.2: Mögliche Lösung, zwingend im Minimum 3 mm Abstand zwischen den beiden Bauteilen

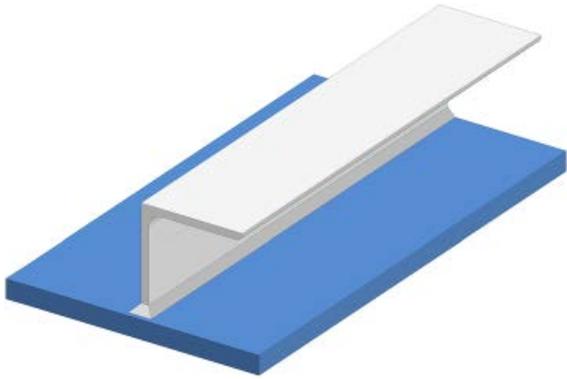


Abb. 14.3: Gute Lösung umlaufend verschweisst (anfällig für Verzug)

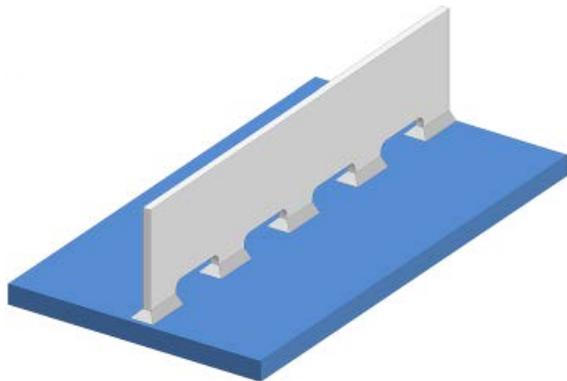


Abb. 14.4: Mögliche Lösung mit örtlichen Schweißstellen (wenig Verzug)



Schaden an einem feuerverzinkten Geländerpfosten mit nur teilweise verschweissten Überlappungen

6.2 Eigenspannung und Verzug

Hohe Eigenspannungen können als Folge der Erwärmung während des Verzinkungsvorganges einen Verzug der Bauteile 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 im ca. 450 °C heißen Zinkbad, wird dieses Gleichgewicht 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.

6.3 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 Schweißens 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.

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

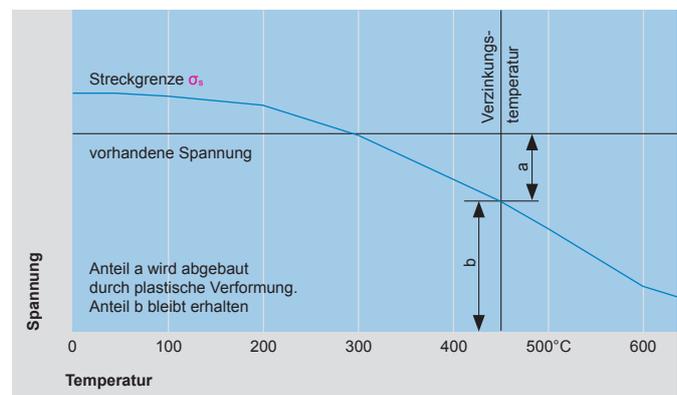


Abb. 16: Verlauf der Streckgrenze von Stahl in Abhängigkeit von seiner Temperatur

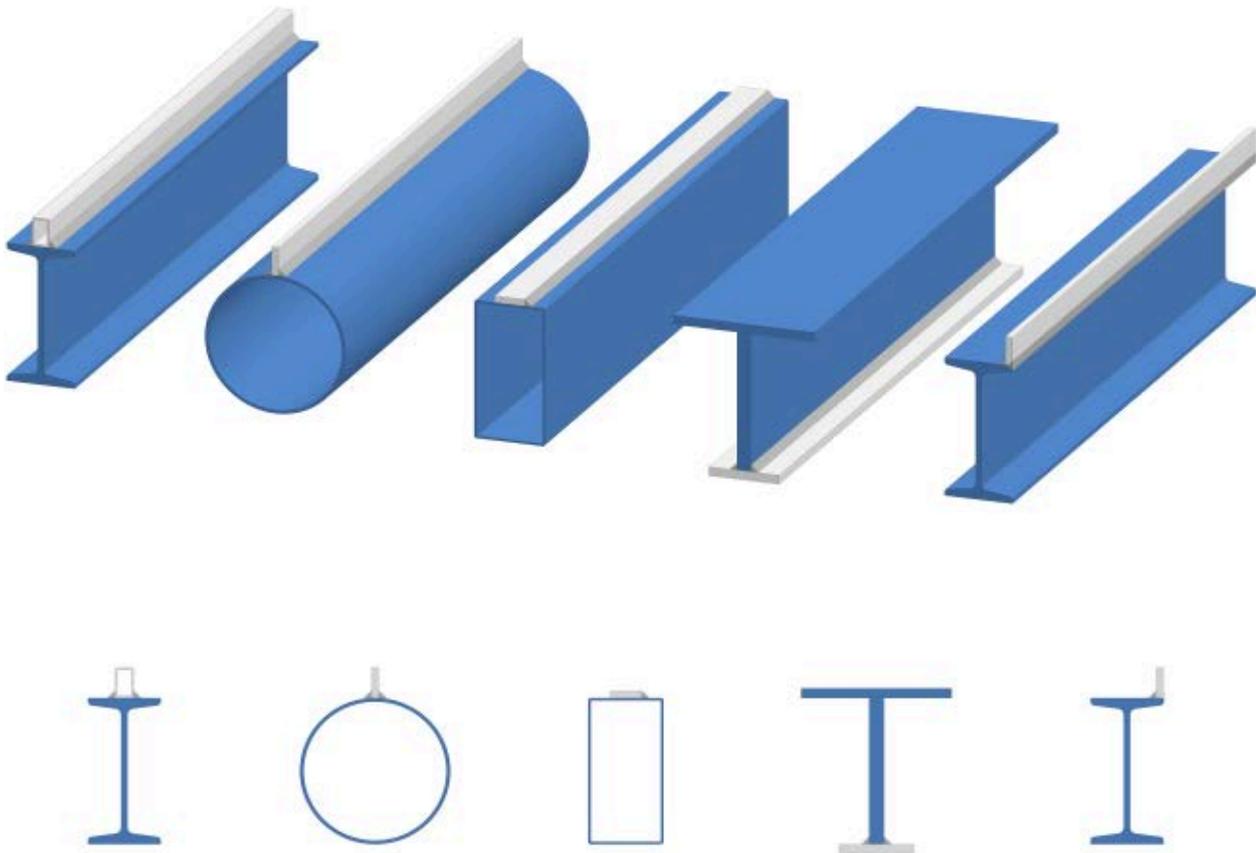


Abb. 17: Aussermittig angeordnete Schweissnähte an Profilen, die zum Verzug der Stahlteile beim Feuerverzinken führen können

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 kleinstmöglichen Dimensionierung der Schweissnähte ist die Verzugsgefahr am geringsten. Asymmetrische 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).

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 Karosserien aus Stahlblech eingesetzt werden.

Die wichtigsten 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 Schwerachse des Profils liegen oder, falls dies nicht möglich ist, symmetrisch zur Schwerachse 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.

6.4 Zusätzliche Aspekte

Beim Schweißen vor dem Feuerverzinken sind weitere 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 derar-

tige Rückstände im Zuge der üblichen Vorbehandlung in der Verzinkerei nicht beseitigt werden (Abb. 18). Auch Trennmittel-Sprays, die häufig beim Schutzgasschweissen verwendet werden, um das Anbrennen von Schweisssspritzern zu verhindern, beeinträchtigen das Verzinkungsergebnis. Sie legen einen kaum sichtbaren Film auf die Stahloberfläche, der beim Vorbehandeln nicht entfernt wird und 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 Zinküberzugs 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 plangeschliffenen Schweissnähten deutlich erkennbar, bei denen sich als Folge eines hohen Silizium-Gehalts in der Schweissnaht 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.

Falls Schweissungen nach dem Feuerverzinken durchgeführt werden müssen, sollte der Zinküberzug vor dem Schweissen in der Schweissnahtzone entfernt werden, um eine hochwertige Schweissung sicherzustellen. Nach dem Schweissen muss der Überzug gemäss Ziffer 6.6 «Reparatur von Zinkschichten» in standgesetzt werden.

Weichgelötete Bauteile und viele Arten des Hartlötens eignen sich nicht für eine nachfolgende Feuerverzinkung.

6.5 Oberflächenvorbereitung

Auf den Oberflächen der zu verzinkenden Teile dürfen keine «artfremden» Verunreinigungen vorhanden sein. Darunter versteht man Reste von Farbbeschichtungen, Rückstände von Schweiss-schlacken, 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.



Abb. 18: Fehlstellen im Zinküberzug durch nicht entfernte Schweiss-schlacken

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.

Der Stahl muss in Übereinstimmung mit den allgemeinen Lieferbedingungen für die Oberflächenqualität des Stahls (z.B. EN 10021, EN 10163-1, EN 10163-2, EN 10163-3 und EN 10221) frei sein von jeglichen Überlappungen und Unregelmässigkeiten wie Walzblasen und Walzfehlern.

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. Daher wird empfohlen, die Brennschnittflächen mindestens 0,3 mm abzuarbeiten (z.B. durch Schleifen) sowie alle Kanten zu brechen.

Generell darf kein Teil der Kanten scharf sein und Grate an Löchern oder an Kanten müssen vor dem Verzinken entfernt werden.

An Bauteilen, welche nach dem Feuerverzinken beschichtet werden (Duplex-System) müssen alle Kanten auf mindestens 1 × 1 mm abgeschrägt bzw. ab Korrosivitätskategorie C4 auf einen Radius von mindestens 2 mm gerundet werden.

6.6 Reparatur von Zinkschichten

Beim Transport oder der Montage von feuerverzinkten Bauteilen kann es vorkommen, dass der Zinküberzug lokal beschädigt wird. Derartige Fehlstellen müssen fachgerecht nachgebessert werden. Die Norm SN EN ISO 1461 regelt das Ausbessern von Fehlstellen. Es heisst dort unter Abschnitt 6.3: «Die Summe der Bereiche ohne Überzug, die ausgebessert werden müssen, darf 0,5% der Gesamtoberfläche eines Einzelteils nicht überschreiten. Ein einzelner Bereich ohne Überzug darf in seiner Grösse 10 cm² nicht übersteigen. Falls grössere Bereiche ohne Überzug vorliegen, muss das betreffende Bauteil neu verzinkt werden, falls keine anderen Vereinbarungen zwischen Auftraggeber und Feuerverzinkungsunternehmen getroffen werden.»

Die Ausbesserung muss die Entfernung von Verunreinigungen und die notwendige Reinigung und Oberflächenvorbereitung der Schadstelle zur Sicherstellung des Haftvermögens beinhalten.

Dabei ist es wichtig, dass die zu behandelnde Fläche frei von Verschmutzungen und Korrosionsprodukten ist. Es empfiehlt sich daher eine Vorbereitung der Stellen durch partielles Schleifen oder lokales Strahlen.

Auf der Baustelle ist eine Ausbesserung mit einer Zinkpaste, Zinkstaub- oder Zinklamellenbeschichtung mittels Pinsel empfehlenswert. Zinksprays sind in der Regel ungeeignet. Möglich sind auch Thermisches Spritzen mit Zink oder das Auftragen eines Zinklotes. Die Schichtdicke des ausgebesserten Bereiches muss mindestens 100 µm betragen, falls keine anderslautenden Vereinbarungen getroffen wurden.

Falls ein feuerverzinktes Teil zusätzlich beschichtet werden soll (Duplex), muss die Ausbesserung gemäss der Norm SN EN 15773:2018 durch thermisches Spritzen mit Zink oder mit einem niedrigschmelzenden Lot auf Zinklegierungsbasis erfolgen. Der Verzinker muss seinen Auftraggeber und den Beschichter vorab unterrichten, um sicherzustellen, dass das hierfür angewendete Verfahren mit dem Beschichtungssystem und dem angewendeten Pulverbeschichtungsverfahren verträglich ist.

7 Beschichtungen

Die Beschichtung eines Duplex-Systems kann als Pulverbeschichtung DIN 55633 oder Nasslack SN EN ISO 12944-5 ausgeführt werden. Diese organischen Beschichtungen sollen gegenüber den Einflüssen der Umgebung beständig sein (Wetter, Sonneneinstrahlung, Wärme, Kälte, Feuchtigkeit, chemische Belastungen) und müssen speziell geeignet sein für eine Beschichtung auf Zink.

Eine technisch und gestalterisch einwandfreie Beschichtung bedingt eine beschichtungsgerechte Konstruktion, einen Feinverputz der Feuerverzinkung sowie eine geeignete Vorbehandlung der Zink-Oberfläche.

Die Normenreihe SN EN ISO 12944 beschreibt, was es beim Korrosionsschutz von Stahlbauten durch Beschichtung generell und im Besonderen bei Duplex-Systemen zu beachten gilt.

Das Beschichten von feuerverzinkten Bauteilen mittels Pulverbeschichtung ist in der Norm SN EN 15773 geregelt. Die Ausführung vieler Regelungen aus dieser Norm (Oberflächen-Vorbereitung, etc.), ist jedoch ebenso bei Duplex-Systemen mittels Nasslack zu empfehlen. Eine Pulverbeschichtung ist jedoch meist schlagfester, schneller in der Anwendung, wirtschaftlicher und ökologischer als eine Nasslackbeschichtung.

7.1 Informationspflicht

Es empfiehlt sich den Bauherrn rechtzeitig über die Oberflächenbeschaffenheit einer Duplex-Beschichtung aufzuklären und gemeinsam mittels Grenzmuster die geforderte Feinverputzqualität festzulegen.

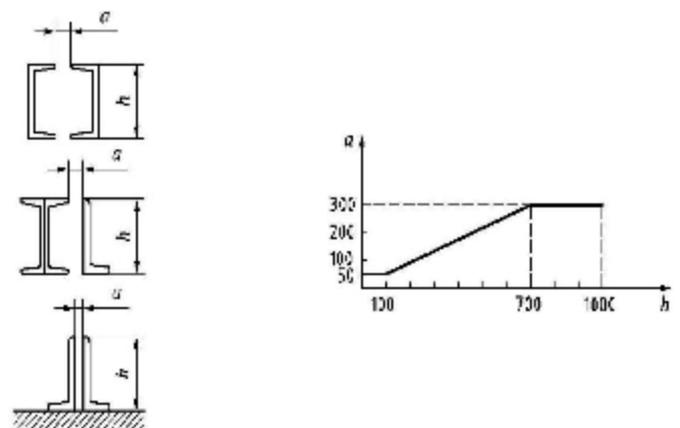
Der Verzinker und der Beschichter sind bei Auftragserteilung über die Verwendung der Erzeugnisse, die Art der Beschichtung und eventuelle besondere Anforderungen zu informieren sowie über die Korrosivitätskategorie zu unterrichten, der die zu behandelnden Erzeugnisse ausgesetzt sein werden.

Der Auftraggeber muss mit dem Verzinker und dem Beschichter den geforderten Oberflächenzustand der Bauteile vor der Beschichtung und die Verantwortlichkeit für diese Oberflächengüte vereinbaren (siehe auch Beurteilungskriterien und Mindestanforderungen unter Ziffer 9), sowie evtl. geltende Grenzmuster zur Verfügung stellen.

7.2 Beschichtungsgerechte Konstruktion

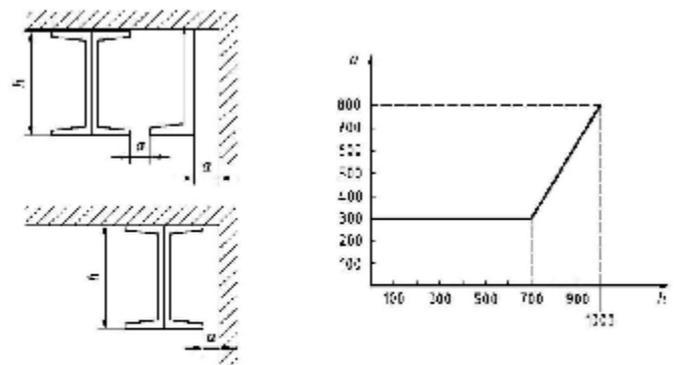
Bereits bei der Planung und Konstruktion sind Zugänglichkeit und Erreichbarkeit für die Ausführung, Prüfung und Unterhalt des Korrosionsschutzes zu berücksichtigen. Zugänglichkeit bedeutet, dass der Raum zwischen Bauwerken und/oder Bauteilen den Zutritt von Personen erlaubt. Erreichbarkeit bedeutet, dass alle Flächen von Hand mit Werkzeugen vorbereitet, beschichtet und geprüft werden können.

Gemäss der Norm SN EN ISO 12944-3:2017 sind dazu folgende Abstände und Freiräume einzuhalten.



- a zulässiger Mindestabstand zwischen zwei Bauteilen oder zwischen einem Bauteil und einer angrenzenden Fläche (mm)
- h maximale Höhe der vom Ausführenden zu erreichenden Bauteile (mm)

Bild C.1 – Mindestabstand bei engen Abständen zwischen Oberflächen gemäss Norm SN EN ISO 12944-3:2017

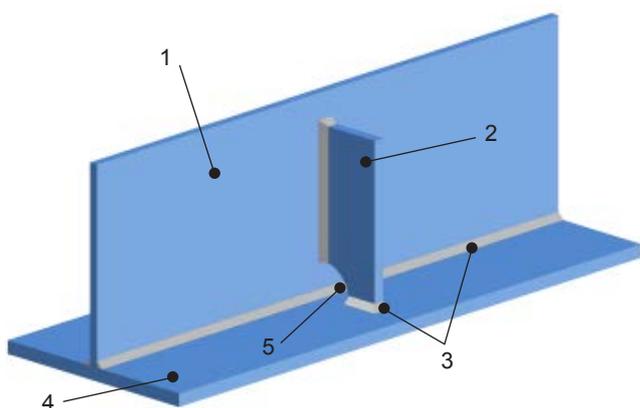


- a zulässiger Mindestabstand zwischen zwei Bauteilen oder zwischen einem Bauteil und einer angrenzenden Fläche (mm)
- h maximale Höhe der vom Ausführenden zu erreichenden Bauteile (mm)

Bild C.2 – Mindestabstand bei engen Abständen zwischen Oberflächen gemäss Norm SN EN ISO 12944-3:2017

Wenn der Ausführende Bauteile mit Höhen über 1000 mm erreichen muss, sollte der Abstand a vorzugsweise mindestens 800 mm betragen.

Aussparungen in Aussteifungsrippen, Stegen oder ähnlichen Bauteilen sollten einen Radius von mindestens 50 mm besitzen, um eine angemessene Oberflächenvorbereitung und ein Beschichten zu ermöglichen (siehe Bild D.7). Wenn die Aussteifung an einer Aussparung dick ist (z.B. > 10 mm), sollte die Dicke der Aussteifung an der Aussparung verjüngt werden, um die Oberflächenvorbereitung und das Beschichten zu erleichtern.



- 1 Steg
- 2 Aussteifung
- 3 Schweissnähte
- 4 Bodenflansch
- 5 Aussparung ($r \geq 50$ mm)

Bild D.7 – Korrosionsschutzgerechte Gestaltung von Aussteifungen gemäss Norm SN EN ISO 12944-3:2017

Kann der Konstrukteur die vorstehenden Empfehlungen nicht befolgen, müssen besondere Massnahmen ergriffen werden.

7.3 Feinverputz

Zusätzlich zur generell nach EN ISO 1461 erforderlichen Reinigung des Zinküberzuges (Entfernung von Zinkascheresten, Flussmittelrückständen, Zinkspitzen) ist für die Beschichtung eine Feinreinigung – «Feinverputz» – erforderlich. Das Feinverputzen und Verschleifen erfolgt an Stellen des Zinküberzuges, die zu einem schlechten dekorativen Aussehen der Oberfläche führen, wie z.B. Hartzinkeinschlüsse, Bereiche mit unzureichender Haftfestigkeit zwischen Zink und Stahl, Zinkanhäufungen, Zinkspitzen, -tropfen und -läufe.

Nach dem Feinverputz muss die Zinkoberfläche in allen Fällen frei sein von scharfen Stellen. Kleine, scharfe Erhebungen, verursacht durch Stahlsplitter, die eingewalzt wurden und andere störende Erhebungen müssen durch Glätten z.B. mit Schleifpapier entfernt werden. Dabei ist jedoch darauf zu achten, dass durch das Entfernen von Zink beim Vorbereiten für organische Beschichtungen keinesfalls die Mindestschichtdicke gem. Ziffer 4.5 unterschritten wird.

Werden höhere dekorative Anforderungen an die beschichtete Oberfläche gestellt, so ist folgendes zu beachten und der Auftraggeber im Voraus entsprechend zu informieren:

- Alle am Zinküberzug vorliegenden Oberflächenfehler und Unebenheiten sind nach der Beschichtung deutlich sichtbar.
- Eine geringfügige (schräge) Verdickung des Zinküberzuges muss abgenommen werden, vorausgesetzt, dass sie nicht stört oder schädigend ist für die Verwendung des Erzeugnisses, wie vorab vom Kunden angegeben.
- Oberflächenrauheit (bedingt durch das Verzinkungsverfahren) darf nicht als nachteilig betrachtet werden.
- Unebenheiten in der Oberfläche des Grundwerkstoffes, z.B. Überwalzungen, Schweissnähte, Zunder- und Rostnarben bleiben nach dem Feuerverzinken erkennbar bzw. werden dadurch erst sichtbar.
- Die Anwendung von Grundwerkstoffen mit ungeeigneter oder kritischer Zusammensetzung für die Feuerverzinkung kann zu deutlich sichtbaren Oberflächenunebenheiten auf den Flächen oder an den Brennschnittkanten führen.
- Zur Vermeidung eines erhöhten Zinkauftrags auf den Schweissnähten kann ein siliziumarmer Schweißdraht verwendet werden.
- Schweissnähte werden nur auf Verlangen plangeschliffen, da dabei die Zinklegierungen verletzt werden, was eine Qualitätsminderung darstellt.

7.4 Abnahmeprüfung nach dem Feinverputz

Da nach der Beschichtung keine weiteren Bearbeitungen an der Zinkschicht mehr möglich sind, wird eine Abnahmeprüfung nach dem Feinverputz durch den Auftraggeber empfohlen.

Dabei soll die Feuerverzinkung in Bezug auf deren Schichtdicken und allfällige Unregelmässigkeiten sowie die Oberflächengüte überprüft werden. Die festgestellten Eigenschaften und allfällige Korrekturmassnahmen sollen in einem Übergabeprotokoll festgehalten werden.

Der Beschichter hat sich vor dem Auftragen von Beschichtungssystemen durch visuelle Prüfung vom Zustand des Zinküberzuges und seiner Eignung als Beschichtungsträger zu überzeugen. Der Beschichter trägt die Verantwortung für die gesamte Optik.

7.5 Richtarbeiten und sonstige Nachbearbeitungen

Vor der Beschichtung sind die Bauteile auf Verzug zu prüfen, ggf. zu richten und Bohrungen, Gewinde etc. soweit wie nötig nachzubearbeiten.

7.6 Vermeidung von Kondensation nach dem Verzinken

Feuchte und Kondensation fördern die Bildung von Zinkkorrosionsprodukten, die eine negative Auswirkung auf die Qualität des Duplex-Systems haben können. Diese Korrosionsprodukte könnten bei der Vorbehandlung schwieriger zu entfernen sein.

Verzinker und Beschichter sollten die zu verzinkten Teile während der Lagerung, Verpackung und beim Transport vor Feuchtigkeit schützen und grössere Temperaturunterschiede vermeiden. Auf kalten Erzeugnissen könnte Kondensation auftreten, wenn sie in einen wärmeren Raum gebracht werden.

Verzinkte Teile sollten durch Zwischenstücke getrennt und keinesfalls dampfdicht verpackt werden.

Bei Bahntransporten müssen verzinkte Teile vor dem Kontakt mit Bremsstaub geschützt werden.

7.7 Vorbehandlung der Zinkoberfläche

Dieser Schritt entscheidet im Wesentlichen über das «Gelingen» der Beschichtung.

Durch die Vorbehandlung müssen alle Verunreinigungen auf der Zinkoberfläche, einschliesslich Fett, Schmutz, Flussmittelrückstände und Zinkkorrosionsprodukte, welche die Haftfestigkeit und das Korrosionsschutzverhalten des nachfolgend aufgetragenen Beschichtungssystems schwächen könnten, entfernt werden.

Frisch verzinkte Untergründe können unmittelbar einer chemischen Vorbehandlung zugeführt werden. Zinkschichten mit sichtbarem Weissrost müssen hingegen mittels Sweep-Strahlen aufbereitet werden.

- Bei der chemischen Vorbehandlung wie Chromatieren oder gleichwertige Verfahren werden vorhandene Zinkoxidationsschichten sowie Schmutz und Fettrückstände in speziellen Reinigungsbädern entfernt und danach eine sogenannte Konversionsschicht aufgebracht. Unter Konversionsschichten versteht man nichtmetallische, meist anorganische, sehr dünne Schichten auf einer Metalloberfläche, die in der Regel durch chemische Reaktion einer wässrigen Behandlungslösung mit dem metallischen Untergrund erzeugt werden.
- Bei der mechanischen Vorbehandlung wie Sweepen, wird mittels einem nichtmetallischem Strahlmedium die Oberfläche aufgeraut und damit vergrössert. Eine optimale Lackhaftung ist somit gewährleistet (entspricht nicht exakt EN 19773 und ist unter 2.5 korrekt beschrieben). Durch das Strahlen sollen alle wesentlichen Verunreinigungen und Korrosionsprodukte von der Zinkoberfläche entfernt, die Dicke der Zinkschicht jedoch höchstens um 10 µm verkleinert werden. Nach dem Sweepen muss die Oberfläche ein gleichmässiges mattes Erscheinungsbild haben. Der geforderte Oberflächenzustand muss zwischen den Vertragspartnern vereinbart werden, ebenso die noch verbleibende Dicke des Zinküberzuges.

Nach der mechanischen oder chemischen Vorbehandlung ist die Oberfläche vor Feuchtigkeit und Verschmutzung zu schützen.

Wenn die Beschichtung nicht unmittelbar nach der mechanischen Vorbehandlung aufgetragen werden kann, muss gesweepter feuerverzinkter Stahl in einem klimatisierten Raum gelagert werden. Die Beschichtung muss innerhalb von 12 Stunden nach dem Sweepen aufgetragen werden. Wenn die relative Luftfeuchte RH $\geq 70\%$ beträgt, ist die Zeitdauer zwischen Sweepen und dem Auftragen des Pulverlacks auf 3 Stunden begrenzt, weil anderenfalls Zinkkorrosionsprodukte gebildet werden könnten. Bei chemisch vorbehandelten Zinküberzügen muss die vom Lieferanten der Chemikalien vorgeschriebene Zeitdauer eingehalten werden.

7.8 Beschichtung

Je nach vorausgehender Vorbehandlung und Korrosivitätskategorie werden die Bauteile zuerst mit einer entsprechenden Grundierung versehen. Die Grundierung soll gut auf der Zinkschicht haften und so eine Verbindung zur Deckbeschichtung herstellen. Im Weiteren verhindert dieser Arbeitsgang weitestgehend eine Unterwanderung der Beschichtung. Bei der chemischen Vorbehandlung ist es die Konversionsschicht, welche ein Unterwandern unterbindet. Erst jetzt wird die wetterbeständige, farbtongebende und vor Umwelteinflüssen schützende Schicht als Nass- oder Pulverlack aufgebracht.

Während des Einbrennvorgangs muss die Oberflächentemperatur des Objektes bei feuerverzinkten Erzeugnissen unter 200 °C liegen, um Veränderungen der Struktur des Zinküberzuges zu vermeiden, es sei denn, dass ein besonderes Schema für die Belastung bezüglich Zeitdauer und Temperatur festgelegt worden ist, dessen Eignung nachgewiesen werden kann.

Während des Einbrennvorgangs kann es durch Ausgasungen aus dem Zinküberzug teilweise zu Filmstörungen wie Blasen, Krater, etc. kommen. Um dieses Problem zu minimieren hat sich die Verwendung von entsprechend additivierten Pulverlacken bewährt. Auch ein Tempern bei Einbrenntemperatur oder das Aufbringen einer Grund- bzw. Zwischenbeschichtung bringen Verbesserungen.

Die Beschichtungsstoffe und ihre Applikation müssen aufeinander abgestimmt sein. Die Materialien sollten nach Möglichkeit nur von einem Hersteller stammen.

Für Duplex-Systeme dürfen nur Beschichtungsstoffe eingesetzt werden, für die eine Bestätigung des Herstellers über deren Eignung auf einer Feuerverzinkung vorliegen.

Transport und Lagerung von fertig beschichteten Bauteilen sind so zu organisieren, dass diese keine zusätzlichen Korrosionsbeanspruchungen verursachen.

7.9 Reparatur von organischen Beschichtungen

Reparaturen am Beschichtungssystem müssen generell in Übereinstimmung mit den Anweisungen des Lack- bzw. Pulverherstellers erfolgen und einen gleichwertigen Korrosionsschutz bieten wie die unbeschädigte Beschichtung.

Die notwendige Oberflächenvorbereitung vorhandener Altbeschichtungen und die Verträglichkeit des zu verwendenden Beschichtungssystems sollten vor Beginn der Reparaturarbeiten auf geeignete Weise geprüft werden.

8 Korrosionsschutz

8.1 Grundsätzliches

Bei der Auswahl des Korrosionsschutzsystems muss neben dem Einsatzort und den äusseren Einflüssen auch die konstruktive Gestaltung der Bauteile beachtet werden und so für eine sichere und einfache Zugänglichkeit zum Zweck der Reinigung und Instandsetzung gesorgt werden.

Wo erforderlich sind die für die Durchführung von Überwachungs- und Unterhaltsarbeiten notwendigen Hilfsmittel (z.B. PSA-Anschlagpunkte, Gerüstverankerungen, etc.) schon im Entwurfsstadium zu planen und vorzusehen.

Spalten, Fugen und sich überlappende Verbindungen sind potentielle Stellen für Korrosionsangriffe, weil sich Feuchte, Schmutz und gegebenenfalls Strahlmittelrückstände aus der Oberflächenvorbereitung darin sammeln können. Derartige Korrosion sollte üblicherweise durch Abdichten vermieden werden. Das Abdichtungsmaterial muss mit der Korrosionsschutzbeschichtung verträglich sein.

Die Tabelle 1 listet zu jeder Korrosivitätskategorie den zu erwartenden Zinkabtrag einer Feuerverzinkung sowie den, vor allem durch Rost verursachten, Massenverlust von ungeschütztem Stahl auf

Korrosivitätskategorie	Flächenbezogener Massenverlust/Dickenabnahme (nach dem ersten Jahr der Auslagerung)				Beispiele typischer Umgebungen (nur informativ)	
	unlegierter Stahl		Zink		Freiluft	Innenraum
	Massenverlust g/m ²	Dickenabnahme µm	Massenverlust g/m ²	Dickenabnahme µm		
C1 unbedeutend	≤ 10	≤ 1,3	≤ 0,7	≤ 0,1	–	beheizte Gebäude mit neutraler Atmosphäre, z.B. Büros, Verkaufsräume, Schulen, Hotels
C2 gering	> 10 bis 200	> 1,3 bis 25	> 0,7 bis 5	> 0,1 bis 0,7	Atmosphäre mit geringem Verunreinigungsgrad: meistens ländliche Gebiete	unbeheizte Gebäude, in denen Kondensation auftreten kann, z.B. Lagerhallen, Sporthallen
C3 mässig	> 200 bis 400	> 25 bis 50	> 5 bis 15	> 0,7 bis 2,1	Stadt- und Industrieatmosphäre mit mässiger Schwefeldioxidbelastung, Küstenatmosphäre mit geringer Salzbelastung	Produktionsräume mit hoher Luftfeuchte und gewisser Luftverunreinigung, z.B. Lebensmittelverarbeitungsanlagen, Wäschereien, Brauereien, Molkereien
C4 stark	> 400 bis 650	> 50 bis 80	> 15 bis 30	> 2,1 bis 4,2	Industrieatmosphäre und Küstenatmosphäre mit mässiger Salzbelastung	Chemieanlagen, Schwimmbäder, küstennahe Werften und Bootshäfen
C5 sehr stark	> 650 bis 1500	> 80 bis 200	> 30 bis 60	> 4,2 bis 8,4	Industriebereiche mit hoher Luftfeuchte und aggressiver Atmosphäre und Küstenatmosphäre mit hoher Salzbelastung	Gebäude oder Bereiche mit nahezu ständiger Kondensation und mit starker Verunreinigung
C4 extrem	> 1500 bis 5500	> 200 bis 700	> 60 bis 180	> 8,4 bis 25	Offshore-Bereiche mit hoher Salzbelastung und Industriebereiche mit extremer Luftfeuchte und aggressiver Atmosphäre sowie subtropische und tropische Atmosphäre	Industriebereiche mit extremer Luftfeuchte und aggressiver Atmosphäre

ANMERKUNG: Die Verlustwerte für die Korrosivitätskategorien sind identisch mit den Werten in ISO 9223

Tabelle 1 der Norm SN EN ISO 12944-2:2017

Taschen, Rücksprünge und Vertiefungen, in denen sich Wasser und Schmutz sammeln können, sollten vermieden werden. Korrosiv wirkende Substanzen wie z.B. Tausalz sollte mittels Rinnen, Drainagerohren, etc. von der Konstruktion weggeleitet werden.

Flächen, die nach der Montage unzugänglich sind, müssen mit einem Korrosionsschutzsystem geschützt werden, welches die geforderte Lebensdauer der Konstruktion überdauert.

Wenn das Bauteil mit anderen Baustoffen in Kontakt kommen kann, muss den Kontaktflächen besondere Aufmerksamkeit gewidmet werden. Falls erforderlich sind spezielle Beschichtungstoffe, Isolierbänder oder Trennfolien aus Kunststoff einzusetzen.

Können Paarungen zwischen Metallen mit galvanischer Elementbildung konstruktiv nicht vermieden werden, sollten die Kontaktflächen elektrisch isoliert werden, z.B. durch Beschichten der Oberflächen beider Metalle. Wenn nur eines der zur Verbindung gehörenden Metalle beschichtet werden kann, ist möglichst das edlere Metall zu beschichten. Auch kathodischer Korrosionsschutz kann in Betracht gezogen werden.

8.2 Korrosionsschutzplanung

Ein guter Korrosionsschutz ist ein kleines Projekt und muss frühzeitig und systematisch geplant werden. Die Planung beginnt bereits bei der korrosionsschutzgerechten Konstruktion. Wichtige Informationen hierzu können den Normen SN EN ISO 12944-2 und SN EN ISO 14713 entnommen werden.

Der Standort des Bauteils ist entscheidend für die Auswahl des Schutzsystems. Ein Balkongeländer in einer ländlichen Umgebung ist nicht vergleichbar mit einer Lärmschutzwand an einer Autobahn. Die Beanspruchung der beiden Objekte ist sehr unterschiedlich. Auch der ästhetische Anspruch der beiden Objekte kann sehr verschieden sein.

Wenn die relative Luftfeuchte mehr als 60% beträgt, die Umgebung nass ist oder eine längere Kondensationsdauer besteht, gibt es für Stahl sowie für die meisten Metalle eine grosse Korrosionsgefährdung. Auf der Oberfläche abgeschiedene Verunreinigungen, besonders Chloride und Sulfate, beschleunigen den Korrosionsangriff. Substanzen, die auf einer Eisen- oder Stahloberfläche abgelagert sind, verstärken die Korrosion, wenn sie Feuchtigkeit absorbieren oder sich auf der Oberfläche des Eisens oder des Stahls auflösen. Auch Temperaturschwankungen können die Korrosion beschleunigen.

Das Mikroklima, d.h. die Bedingungen in unmittelbarer Nähe der Konstruktion, sollte bereits in der Planungsphase möglichst genau bestimmt werden, weil es eine exaktere Bewertung der wahrscheinlichen Bedingungen am Bauteil im Vergleich zum Makroklima ermöglicht. Ein Beispiel für ein Mikroklima ist die Unterseite einer Brücke (besonders oberhalb von Wasser).

Die Korrosion von Stahlbauten innerhalb von Gebäuden hängt von Innenraumbedingungen ab.

Teilweise überdachte und offene Stahlkonstruktionen werden ohne Sonderbelastungen der äusseren Umgebung zugeordnet.

Industriell genutzte Bauwerke, chemische, feuchte oder verunreinigte Umgebungen sollten besonders beachtet werden.

Bei Stahlkonstruktionen an der Gebäudehülle besteht ein erhöhtes Korrosionsrisiko durch Kondensation, insbesondere wenn die Stahlkonstruktion die Gebäudehülle durchdringt, mit der Aussenhaut in Kontakt steht oder in die Fassade eingebettet ist.

Der korrosive Einfluss der Atmosphäre lässt sich nur mit Hilfe von Messung der Massen- oder Dickenabnahme an Standardproben vor Ort exakt ermitteln.

Wenn es nicht möglich ist, Standardproben vor Ort in der betreffenden Umgebung auszulagern, kann die Korrosivitätskategorie anhand der in der Tabelle 1 der Norm SN EN ISO 12944-2:2017 aufgeführten Beispiele für typische Umgebungen geschätzt werden. Die aufgeführten Beispiele sind jedoch rein informativ und können gelegentlich zu unzutreffenden Annahmen führen.

Korrosivitätskategorien können auch geschätzt werden, indem die kombinierte Wirkung folgender Umgebungsfaktoren berücksichtigt wird: Jährliche Befeuchtungsdauer, jährliche Durchschnittskonzentration von Schwefeldioxid und jährliche durchschnittliche Flächenbeaufschlagung durch Chloride (siehe ISO 9223).

In Strassentunnels beispielsweise ist die Umgebung oft sehr aggressiv und sauer durch hohe Schwefeldioxid- und Stickstoffoxid-Konzentrationen und es muss mit chloridhaltigen Ablagerungen gerechnet werden.

Besondere Vorsicht ist bei Stahlbauten geboten, die teilweise in Wasser eintauchen oder sich teilweise im Erdreich befinden. Die Korrosion beschränkt sich unter solchen Bedingungen oft auf einen kleinen Teil des Bauwerks, der jedoch eine hohe Korrosionsgeschwindigkeit aufweisen kann.

Die Zusammensetzung des Wassers hat einen wesentlichen Einfluss auf die Korrosion von Stahl. Dazu kategorisiert die Norm SN EN ISO 12944-2 in der Tabelle 2 vier verschiedene Wasser-Umgebungen.

Kategorie	Umgebung	Beispiele für Umgebungen und Bauwerke
Im1	Süßwasser	Flussbauten, Wasserkraftwerke
Im2	Salz- oder Brackwasser	wasserberührte Stahlbauten ohne kathodischen Korrosionsschutz (z.B. Hafengebiete mit Stahlbauten wie Schleusentoren, Schleusen oder Molen)
Im3	Erdreich	Behälter im Erdbereich, Stahlpundwände, Stahlrohre
Im4	Salz- oder Brackwasser	wasserberührte Stahlbauten mit kathodischem Korrosionsschutz (z.B. Offshore-Anlagen)

ANMERKUNG: In Korrosivitätskategorie Im1 und Im3 kann ein kathodischer Korrosionsschutz bei entsprechend geprüftem Beschichtungssystem verwendet werden

Tabelle 2 der Norm SN EN ISO 12944-2:2017

Im Erdreich ist die Korrosion abhängig von dessen Mineralstoffgehalt und von der Art dieser Mineralien sowie von vorhandenen organischen Bestandteilen, Wassergehalt und Sauerstoffgehalt. Die Korrosivität von Böden wird stark vom Grad der Durchlüftung beeinflusst. Kalkhaltige und sandige Böden (vorausgesetzt, sie sind chloridfrei) sind im Allgemeinen am wenigsten korrosiv, während Ton- und Tonmergelböden bis zu einem begrenzten Umfang zu Korrosion führen. In Moor- und Torfböden hängt das Korrosionsverhalten vom Gesamtsäuregehalt ab.

Wo grössere Stahlbauten oder Rohrleitungen durch verschiedene Bodenarten, Böden mit unterschiedlichem Sauerstoffgehalt, Böden mit unterschiedlichem Grundwasserspiegel usw., verlaufen, kann örtlich verstärkte Korrosion (Lochfrass) durch die Bildung von Korrosionselementen auftreten (weitere Angaben dazu siehe EN 12501-1).

Korrosionselemente können sich auch an den Grenzflächen Boden/Luft und Boden/Grundwasserspiegel bilden und den Korrosionsangriff möglicherweise verstärken. Diese Stellen sollten daher besonders beachtet werden.

Die Anwendung eines kathodischen Schutzes für Konstruktionen im Erdboden oder im Wasser kann sowohl die Anforderungen an den Überzug verändern als auch die Haltbarkeit der Konstruktion verlängern. Hierzu sollte zur Berücksichtigung aller geltenden Bedingungen der Rat eines Fachmanns eingeholt werden.

Mechanische Belastungen

Vom Wind mitgeführte Teilchen (z.B. Sand) können zu Abriebbelastungen (Erosion) führen.

Im Wasser können mechanische Belastungen durch Geröllbewegung, Abrieb durch Sand, Wellengang, Bewuchs usw. hervorgerufen werden.

Verstärkte Korrosion durch Zusammenwirken von Belastungen

An Oberflächen, die gleichzeitig mechanischen und chemischen Belastungen ausgesetzt sind, kann sich Korrosion schneller entwickeln. Dies gilt insbesondere für Stahlbauten an Strassen, auf die Split oder Salz aufgebracht wurde. Durch vorbeifahrende Fahrzeuge werden Teile dieser Stahlbauten mit salzhaltigem Wasser bespritzt und mit Split beschleudert. Die Oberfläche ist dann Korrosionsbelastungen durch das Salz und gleichzeitig mechanischen Belastungen durch die Spliteinwirkung ausgesetzt.

Andere Teile des Bauwerks werden durch Salzsprühnebel benetzt. Dies wirkt sich beispielsweise an der Unterseite von Brücken über gesalzenen Strassen aus. Es wird im Allgemeinen davon ausgegangen, dass sich die Sprühnebelzone bis in eine Entfernung von 15 m von der betreffenden Strasse erstreckt.

8.3 Schutzdauer einer Feuerverzinkung in unterschiedlichen Umgebungen

Die Schutzdauer einer Feuerverzinkung wird primär durch die Schichtdicke des Zinküberzugs und die Korrosivitätskategorie bestimmt. In der Tabelle 2 der Norm SN EN ISO 14713-1:2017 wird die, von einer Feuerverzinkung zu erwartende Schutzdauer in Abhängigkeit der Schichtdicke und Korrosivitätskategorie aufgelistet.

System	Mindest-Zink-Schichtdicke (µm)	Korrosivitätskategorie, kürzeste/längste Schutzdauer in Jahren			
		C3	C4	C5	CX
Feuerverzinken nach ISO 1461	85	40/> 100	20/40	10/20	3/10
	140	67/> 100	33/67	17/33	6/17
	200	95/> 100	48/95	24/48	8/24
Feuerverzinken nach EN 10346 (band-/sendzimiervzinken)	20	10/29	5/10	2/5	1/2
	42	20/60	10/20	5/10	2/5

Ausschnitt aus Tabelle 2 der Norm SN EN ISO 14713-1:2017

Die Korrosionsschutzdauer im Freien 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. 20). 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.

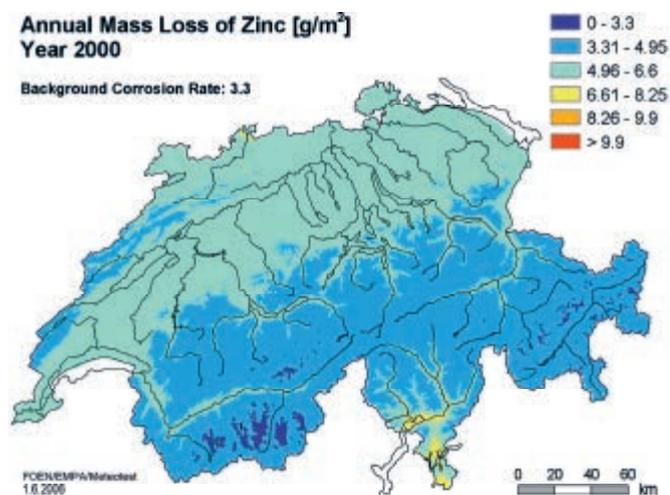


Abb. 20: Jährlicher Zinkabbau in g/m² im Freien

Die Zinkschicht bildet sowohl eine Barriere als auch einen kathodischen Korrosionsschutz, wodurch der Stahl auch bei Kratzern in der Zinkschicht vor Korrosion geschützt wird.

Weniger geeignet ist eine Feuerverzinkung in heissem, weichem Wasser. Ein starker Korrosionsangriff auf Zink kann auch durch Kondensateinwirkung erfolgen, besonders zwischen etwa 55 °C und 80 °C (z.B. in Saunananlagen).

Weitere Hinweise zur Korrosionsbeständigkeit einer Feuerverzinkung beim Einbau im Boden, Wasser, Beton sowie beim Kontakt mit Holz, Chemikalien und anderen Metallen finden sich in der Norm SN EN ISO 14713-1.

8.4 Korrosionsschutz durch Beschichtungssysteme

Auf dem Markt finden sich für die unterschiedlichsten Anwendungen viele unterschiedliche Beschichtungssysteme für Stahl.

Damit der Beschichter die richtige Vorbehandlung und das geeigneten Beschichtungssystem ermitteln kann, braucht er vom Auftraggeber im Voraus folgende Angaben:

- Verwendung, Material, Oberfläche, Dimensionen und Gewicht der zu beschichtenden Bauteile
- Ggf. material- oder bauteilbedingte Einschränkungen bezüglich Einbrenntemperatur
- Werkvertragsvorgaben zur Oberflächenbehandlung
- Aussen-/Innenanwendung
- Korrosivitätskategorie
- Farbton mit Glanzgrad und ggf. Angaben zu Metallic/Glimmer/Struktur
- Evtl. erhöhte UV-Beständigkeit/hochwetterfeste Beschichtung
- Besondere mechanische Beanspruchungen
- Kontaktflächen mit Erdbreich, Wasser, Beton etc.
- Speziell zu behandelnde Flächen z.B. für gleitfeste Verbindungen oder Flüssigkunststoffanschlüsse

8.5 Wirkungsweise von Duplexsystem

Die Duplex-Systeme beruhen auf einem gegenseitigen Schutz beider Partner. Die Feuerverzinkung wird durch die organische Beschichtung vor Umwelt und chemischen Einflüssen geschützt. Der Abtrag des Zinks wird so über mehrere Jahre vermieden, der Zinküberzug bleibt unter der Beschichtung lange Zeit in «neuerwertigem» Zustand erhalten. So «lebt» die Feuerverzinkung länger.

Bis Korrosivitätskategorie C3 haben kleine mechanische Beschädigungen an der Beschichtung lediglich einen optischen Nachteil. Die hohe Widerstandsfähigkeit und Abriebfestigkeit des darunter liegenden Zinküberzuges hält auch hohen Belastungen stand. Ein korrodieren des duplexierten Bauteils kann so weitestgehend vermieden werden.

8.6 Schutzdauer von Duplexsystemen

Generell muss der Beschichter zwingend darüber informiert sein, wo das Bauteil eingesetzt wird. Nur so kann er das optimale System auswählen und anwenden. Das Optimum bezieht sich hier auf Qualität und Preis. Denn je höher die Anforderungen, desto höher ist der Beschichtungsaufwand und somit auch der Preis.

Die Beschichtungsstoffe müssen auf der Feuerverzinkung gut haften. Organische Stoffe, welche mit der Feuerverzinkung reagieren (siehe auch Begriff «Verseifen») sind nicht geeignet.

Duplex-Systeme liefern gute Voraussetzungen für eine möglichst lange Schutzdauer.

Abhängig vom jeweils vorliegenden Fall kommen geeignete Grund- und Deckbeschichtungen oder auch Einschichtbeschichtungen zum Einsatz.

Voraussetzung für ein wirksames Duplex-System ist ein guter Schutz des chemisch reaktionsfähigen Zinküberzuges. In der Tabelle D.1 der Norm SN EN ISO 12944-5:2018 sind die Sollschichtdicken angegeben, die allgemein für Beschichtungssysteme auf Feuerverzinkung bei unterschiedlicher Korrosionsbelastung und erwarteter Haltbarkeit gelten sollen.

Der Hersteller von Beschichtungsstoffen muss die Eignung der Beschichtungsstoffe und des Beschichtungssystems für verzinkten Stahl ausdrücklich bestätigen, beispielsweise in technischen Merkblättern. Allgemein gilt unabhängig vom zu beschichtenden Substrat, dass die Beschichtungsstoffe für ein Beschichtungssystem aufeinander abgestimmt sein müssen und vom gleichen Hersteller stammen sollten.

Ab Korrosivitätskategorie C4 empfiehlt es sich, einen Fachmann an Bord zu holen. Meist kann hier der Lacklieferant weiterhelfen.

Insbesondere im Bereich sehr starker Korrosionsbelastung (Korrosivitätskategorie C5) sollte sehr sorgfältig geprüft werden, ob ein Duplex-System als Korrosionsschutzsystem geeignet ist. Vor allem bei sehr hoher Salz- oder Chemikalienbelastung u.a. durch Säuren oder Laugen sind Duplex-Systeme nicht geeignet. Besonders kritische Anwendungen für Duplex-Systeme sind beispielsweise Verzinkereien (Säurebelastung), Viehställe und Rottehallen. Hier können Beschichtungssysteme auf Stahl ohne Verzinkung die bessere Alternative darstellen.

Tabelle D.1 – Beschichtungssysteme auf feuerverzinktem Stahl für die Korrosivitätskategorien C2 bis C5

System-Nr.	Korrosivitäts-kategorie	Grundbeschichtung			Nachfolgende Beschichtung(en)	Beschichtungssystem			Schutzdauer ^a			
		Bindemitteltyp	Anzahl der Schichten	NDFT µm		Bindemitteltyp	Anzahl der Schichten	NDFT µm	l	m	h	vh
G2.01	C2	EP, PUR, AY	1	80		1	80	X	X	X		
G2.02		AY	1	80	AY	2	160	X	X	X	X	
G2.03		EP, PUR	1	80 bis 120	EP, PUR, AY	1 bis 2	120	X	X	X	X	
G3.01	C3	EP, PUR, AY	1	80		1	80	X	X			
G3.02		EP, PUR	1	80 bis 120	EP, PUR, AY	1 bis 2	120	X	X	X		
G3.03		AY	1	80	AY	2	160	X	X	X		
G3.04		EP, PUR	1	80	EP, PUR, AY	2	160	X	X	X	X	
G3.05		AY	1	80	AY	2 bis 3	200	X	X	X	X	
G4.01	C4	EP, PUR, AY	1	80		1	80	X				
G4.02		EP, PUR	1	80 bis 120	EP, PUR, AY	1 bis 2	120	X	X			
G4.03		AY	1	80	AY	2	160	X	X			
G4.04		EP, PUR	1	80	EP, PUR, AY	2	160	X	X	X		
G4.05		AY	1	80	AY	2 bis 3	200	X	X	X		
G4.06		EP, PUR	1	80	EP, PUR, AY	2 bis 3	200	X	X	X	X	
G5.01	C5	EP, PUR	1	80 bis 120	EP, PUR, AY	1 bis 2	120	X				
G5.02		AY	1	80	AY	2	160	X				
G5.03		EP, PUR	1	80	EP, PUR, AY	2	160	X	X			
G5.04		AY	1	80	AY	2 bis 3	200	X	X			
G5.05		EP, PUR	1	80	EP, PUR, AY	2 bis 3	240	X	X	X	X	

Tabelle D.1 der Norm SN EN ISO 12944-5:2018

Legende zu den Abkürzungen in der obigen Tabelle:

AY Acrylharz EP Epoxidharz
PUR Polyurethan NDFT Sollsichtdicke

Schutzdauer: l low (kurz) bis zu 7 Jahre
m medium (mittel) 7 bis 15 Jahre
h high (lang) 15 bis 25 Jahre
vh very high (sehr lang) über 25 Jahre

In der Praxis sind Bauteile oft Belastungen ausgesetzt die über die Einwirkung der Witterung hinausgehen. Mechanische Einflüsse oder Belastungen beim Transport und bei der Montage gehören ebenso dazu wie z.B. Steinschlag und Abrieb während der Nutzungsphase. Derartige Einflüsse können die Schutzdauer auch von Duplexsystemen erheblich verringern und sollten angemessen berücksichtigt werden.

Besondere Aufmerksamkeit erfordern Übergangsstellen zwischen Beton und Stahl, insbesondere im Fall von Verbundkonstruktionen, die hohen Korrosionsbelastungen ausgesetzt sind. Hier soll die Beschichtung des Stahlteils ca. 50 mm in den Beton hineinlaufen und die Fuge umlaufend abgedichtet werden (siehe auch Merkblatt TK 001 des Metaltec Suisse).

8.7 Verbindungsmittel

Beim Verbinden von Bauteilen aus weniger edlen Metallen mit Bauteilen aus edleren Metallen ist wegen dem Risiko der Kontaktkorrosion Vorsicht geboten. Kritisch sind insbesondere Verbindungen, bei denen das weniger edle Metall im Vergleich zum edleren Metall eine kleine Oberfläche aufweist. Dagegen bestehen keine Bedenken, unter weniger kritischen Bedingungen Verbindungsmittel aus nichtrostendem Stahl mit kleiner Oberfläche in Bauteilen aus weniger edlen Metallen zu verwenden. Mitverspannte federnde Elemente (z.B. Federringe und Fächerscheiben) dürfen in solchen Fällen jedoch nicht verwendet werden, da sie anfällig gegen Risskorrosion sind und die Langzeitfestigkeit der Verbindung beeinträchtigen können.

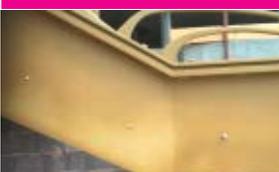
9 Visuelle Beurteilungen von Duplexoberflächen

Die Prüfung wird in der Regel im Aussenraum im Abstand von mindestens 5 m und im Innenraum im Abstand von mindestens 3 m durchgeführt.

Im Aussenraum soll bei diffusem Tageslicht, im Innenraum bei normaler (diffuser), für die Nutzung der Räume vorgesehener Ausleuchtung unter einem Betrachtungswinkel senkrecht zur Oberfläche geprüft werden.

Merkmale sind dann auffällig einzustufen, wenn sie unter den oben genannten Bedingungen erkannt werden. Eine vorherige Markierung ist nicht zulässig.

Ein wesentlicher Aspekt für die Beurteilung und das Niveau der Mindestanforderungen ist die Bedeutung, welche das Erscheinungsbild der jeweils zu beurteilenden Oberfläche hat. Die gleichen Oberflächen-Unregelmässigkeiten werden beispielsweise an einem Seilbahnmast weit weniger streng beurteilt als an einem Handlaufprofil eines Balkongeländers.

Niveau der Mindestanforderungen an Aussehen und Haptik				
Beurteilungskriterien		Tief z.B. Stahlbau für Brücke ausserhalb Publikumsverkehr	Mittel z.B. Balkontrag- konstruktion	Hoch z.B. Handlauf an Geländer im Wohnbereich
Kleine scharfe Erhebungen, Zinkspitzen, Gräte, scharfe Kanten und Überblattungen		Nicht zulässig		
Schleifriefen, in der Fläche aufragende Schweissnähte, schräge Verdickungen des Zinküberzugs		Zulässig	In geringem Umfang zulässig	Zulässig nur, wenn unauffällig und haptisch nicht störend
Halbzeugbedingte Unebenheiten (z.B. Dellen, Ziehstreifen, Längsschweissnähte, Abdrücke, Strukturen)		Zulässig innerhalb den, in der jeweiligen Erzeugnisnorm definierten Grenzen		
Fertigungsbedingte Struktur und mechanische Beschädigungen (z.B. Dellen, Beulen, Kratzer)		Zulässig	In geringem Umfang zulässig	Zulässig nur, wenn unauffällig und haptisch nicht störend
Krater, Blasen		Durchmesser < 1 mm zulässig	Durchmesser < 0,5 mm, ≤ 15 Stk. pro m bzw. m ² bei Pulverbeschichtung; ≤ 10 Stk. pro m bzw. m ² bei Nasslack	Durchmesser < 0,5 mm, ≤ 10 Stk. pro m bzw. m ² bei Pulverbeschichtung; ≤ 5 Stk. pro m bzw. m ² bei Nasslack
Einschlüsse		Zulässig	Durchmesser < 0,5 mm, ≤ 10 Stk. pro m bzw. m ²	Durchmesser < 0,5 mm, ≤ 5 Stk. pro m bzw. m ²
Abplatzungen		Zulässig nur, wenn der Korrosionsschutz gleichwertig ausgebessert wurde	Zulässig nur, wenn unauffällig und der Korrosionsschutz gleichwertig ausgebessert wurde	Nicht zulässig
Farbläufe, Zinkläufe/-tropfen		≤ 3 pro m bzw. m ²	Zulässig nur, wenn unauffällig und ≤ 1 pro m bzw. m ²	Nicht zulässig
Orangenhaut		Zulässig	Fein strukturiert zulässig; grob strukturiert nur zulässig, wenn Schichtdicke > 120 µm erforderlich	
Glanzunterschiede und Farbton-Abweichungen		Zulässig	Zulässig nur, wenn unauffällig	

Andere Betrachtungsabstände und -kriterien oder andere Mindestanforderungen müssen vorab zwischen dem Auftraggeber und dem ausführenden Betrieb ausdrücklich vertraglich vereinbart werden.

Wichtig ist in jedem Fall, dem Verzinker und dem Beschichter die Flächen mit hohen Mindestanforderungen an Aussehen und Haptik im Voraus klar anzugeben (z.B. mittels farbiger Markierungen auf Detailplänen). Falls weitere Massnahmen zur Verbesserung der Oberflächengüte, wie z.B. Schleifen von Schweissnähten verlangt wird, ist dies mit den beteiligten Unternehmen im Voraus extra zu vereinbaren.

Werden hohe Mindestanforderungen an Aussehen und Haptik gestellt, lohnt es sich für alle Beteiligten eine Abnahmeprüfung mit Übergabeprotokoll zwischen Feinverputz und Beschichtung durchzuführen.

10 Ausschreibung und Auftragserteilung

Da es unter dem Oberbegriff «Verzinkung» verschiedene Verfahren mit unterschiedlichen Schutzwirkungen gibt, ist es wichtig Ausschreibungstexte und Bestellungen präzise zu formulieren. Es sollte Bezug auf die Norm SN EN ISO 1461 genommen werden, denn nur sie gewährleistet einen Korrosionsschutz durch Stückverzinken.

Beispielhafter Ausschreibungstext für eine feuerverzinkte Stahlkonstruktion:

- Alle Stahlteile mit Korrosionsschutz durch Feuerverzinken (Stückverzinken) gemäss SN EN ISO 1461.
- Bei tragenden Metall- und Stahlkonstruktionen ist zusätzlich die Normenreihe SN EN 1090 anzuwenden.
- Bei Stahlbestellungen ist die Option «Feuerverzinken» nach der jeweiligen Erzeugnisnorm zu wählen.
- Die gesamte Konstruktion ist gemäss SN EN ISO 1461 und SN EN ISO 14713 feuerverzinkungsgerecht zu konstruieren und zu fertigen.
- Alle Verbindungsmittel (Schrauben, Muttern, Unterlegscheiben etc.) feuerverzinkt gemäss SN EN ISO 10684 bzw. bis M8 in Edelstahl A4.

Bei der Ausschreibung und Bestellung von Duplex-Systemen sind in jedem Fall die Korrosivitätskategorie und die geforderte Schutzdauer anzugeben. Neben dem Verweis auf die Norm SN EN ISO 1461 empfiehlt sich ein Bezug auf die Normenreihe SN EN ISO 12944 und bei Pulverbeschichtung zusätzlich auf die Norm SN EN 15773.

Vor allem bei Aussenanwendung in Höhenlagen ab 2000 m.ü.M. und bei bunten Farbtönen empfiehlt es sich eine hochwetterfeste Deckbeschichtung auszuschreiben. Hochwetterfeste (HWF) Lacke zeichnen sich durch erhöhte Glanzgradhaltung, Farbstabilität und Reinigungsfreundlichkeit aus.

Beispielhafter Ausschreibungstext für eine Stahlkonstruktion mit Duplex-Beschichtung mittels Nasslack, geeignet für Korrosivitätskategorie C3, Schutzdauer lang:

Korrosionsschutz von Stahlkonstruktion durch Duplex-System mittels Nasslack, geeignet für Korrosivitätskategorie C3, Schutzdauer lang (15 bis 25 Jahre)
Ausführung gemäss den Normen SN EN ISO 1461, SN EN ISO 12944 und SN EN ISO 14713

Aufbau des Korrosionsschutzsystems:

- Feuerverzinken (Stückverzinken) gemäss SN EN ISO 1461
- Feinverputz für nachträgliche Beschichtung
- Richtarbeiten und Nachbearbeitungen soweit erforderlich
- Abnahmeprüfung mit Übergabeprotokoll durch Stahl-/Metallbauer
- Mechanische Oberflächenvorbereitung durch Sweep-Strahlen nach SN EN ISO 12944-4,
- 1 × 2K-Epoxid-Grundbeschichtung 60 µm (Nasslack)
- 1 × 2K-Polyurethan-Deckbeschichtung 60 µm (Nasslack), Farbton, Seidenglanz

Die gesamte Konstruktion ist gemäss den oben aufgeführten Normen korrosionsschutzgerecht zu konstruieren und zu fertigen.

Bei tragenden Metall- und Stahlkonstruktionen ist zusätzlich die Normenreihe SN EN 1090 anzuwenden.

Bei Stahlbestellungen ist die Option «Feuerverzinken» nach der jeweiligen Erzeugnisnorm zu wählen.

Es dürfen nur Beschichtungsstoffe eingesetzt werden, für die eine Bestätigung des Herstellers über deren Eignung auf einer Feuerverzinkung vorliegen.

Alle Verbindungsmittel (Schrauben, Muttern, Unterlegscheiben etc.) feuerverzinkt gemäss SN EN ISO 10684 oder in Edelstahl A4. Nach Absprache sind alle Befestigungsmittel nach der Montage zusätzlich mit dem oben beschriebenen System zu beschichten.

Beispielhafter Ausschreibungstext für eine Stahlkonstruktion mit Duplex-Beschichtung mittels Pulverbeschichtung, geeignet für Korrosivitätskategorie C3, Schutzdauer lang:

Korrosionsschutz von Stahlkonstruktionen durch Duplex-System mittels Pulverbeschichtung, geeignet für Korrosivitätskategorie C3, Schutzdauer lang (15 bis 25 Jahre)

Ausführung gemäss den Normen SN EN ISO 1461, SN EN ISO 12944, SN EN ISO 14713 und SN EN 15773

Aufbau des Korrosionsschutzsystems:

- Feuerverzinken (Stückverzinken) gemäss SN EN ISO 1461
- Feinverputz für nachträgliche Beschichtung
- Richtarbeiten und Nachbearbeitungen soweit erforderlich
- Abnahmeprüfung mit Übergabeprotokoll durch Stahl-/Metallbauer
- Mechanische Oberflächenvorbereitung durch Sweep-Strahlen nach SN EN ISO 12944-4,
- 1 × Epoxid-Grundbeschichtung 60 µm (Pulverlack)
- 1 × Polyester-Deckbeschichtung 60 µm (Pulverlack), Farbton, Seidenglanz

Die gesamte Konstruktion ist gemäss den oben aufgeführten Normen korrosionsschutzgerecht zu konstruieren und zu fertigen.

Bei tragenden Metall- und Stahlkonstruktionen ist zusätzlich die Normenreihe SN EN 1090 anzuwenden.

Bei Stahlbestellungen ist die Option «Feuerverzinken» nach der jeweiligen Erzeugnisnorm zu wählen.

Es dürfen nur Beschichtungsstoffe eingesetzt werden, für die eine Bestätigung des Herstellers über deren Eignung auf einer Feuerverzinkung vorliegen.

Alle Verbindungsmittel (Schrauben, Muttern, Unterlegscheiben etc.) feuerverzinkt gemäss SN EN ISO 10684 oder in Edelstahl A4. Nach Absprache sind alle Befestigungsmittel nach der Montage zusätzlich mit einem gleichwertigen 2K-Nasslack zu beschichten.

11 Reinigung von Zink oder Duplex und Instandhaltung

Reinigungsempfehlung:

- Spülen mit viel Wasser.
- Reinigung mit Netzmittellösung und als Hilfsmittel Schwamm oder weichen Lappen verwenden.
- Nachspülen und trocknen.

Absolut verboten:

- Lösemittelhaltige Reiniger, Verdüner, Aceton, Säuren, Laugen, stark alkalische Reiniger.
- Scheuermittel oder scheuernde Hilfsmittel.

Instandhaltung Zinküberzug:

Übersteigt die geforderte Nutzungsdauer der Konstruktion die Schutzdauer des Zinküberzugs, so sollte durch Entzinkung und Neuverzinkung der Konstruktion oder durch Beschichtung auf einer Restzinkschicht eine Instandsetzung erfolgen.

Falls es notwendig ist, die Schutzdauer eines Zinküberzugs zu verlängern, ist eine Instandsetzung durchzuführen, bevor sich Rost gebildet hat und möglichst bevor die Restschichtdicke des Zinküberzugs weniger als 20 µm bis 30 µm beträgt.

Instandhaltung Beschichtung:

Die notwendige Oberflächenvorbereitung vorhandener Altbeschichtungen und die Verträglichkeit des zu verwendenden Beschichtungssystems sollten vor Beginn der Reparaturarbeiten auf geeignete Weise geprüft werden. Zur Überprüfung der Empfehlungen des Herstellers und/oder der Verträglichkeit mit dem vorherigen Beschichtungssystem können Probeflächen angelegt werden.

Generell ist zu beachten, dass eine Fläche mit abgewetzter Beschichtung Feuchtigkeit aufnehmen kann, wodurch die Korrosion des Metalls besonders dann beschleunigt wird, wenn diese Fläche nicht durch Regen abgewaschen werden kann.

Generelle Bemerkungen:

Bei Fragen und/oder Unklarheiten sollte direkt mit der Verzinkerei Kontakt aufgenommen werden.

Das Merkblatt ist eine Orientierungshilfe über den heutigen Stand der Technik. Es vermittelt Wissen und Erfahrung und dient als Verständigungshilfe für die Beteiligten. Der AM Suisse und die Autoren haften nicht für Schäden, die durch die Anwendung der vorliegenden Publikation entstehen könnten.

Metaltec Suisse
Ein Fachverband des AM Suisse

AM Suisse
Seestrasse 105, 8002 Zürich
T +41 44 285 77 30, F +41 44 285 77 36
metaltecsuisse@amsuisse.ch
www.metaltecsuisse.ch

Projektleitung

Kurt Speiser, 3600 Thun TK Metaltec Suisse

Beteiligende Branchenverbände

VSV Vereinigung Schweizerischer Verzinkereien
 Vereinigung Schweizerischer Verzinkereien
Union Suisse des Uniers de Zingage

Metaltec Suisse


Schweizerische Vereinigung der Industrielackiermeister, Vorstandsmitglied
 SCHWEIZERISCHE VEREINIGUNG DER INDUSTRIELACKIERMEISTER

Arbeitsgruppe

Kurt Speiser TK Metaltec Suisse/Unternehmer
3600 Thun

Daniel Leuenberger TK Metaltec Suisse/Unternehmer
5522 Tägerig

Beat Lingg IGP Pulverlack-Technologie
9500 Wil

Hansruedi Wehrli TK Schweizerische Vereinigung der Industrielackiermeister
6473 Silenen

Remo Lutta TK VSV Vereinigung Schweizerischer Verzinkereien
8833 Samstagern

Illustrationen erstellt durch Speiser Metallbauplanung, Thun