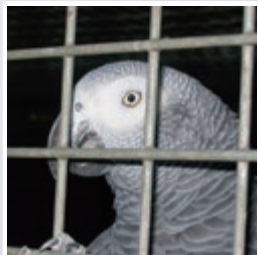


+ VSV
USUZ

Vereinigung
Schweizerischer Verzinkereien
Union Suisse
des Usines de Zingage



RATGEBER KORROSIONSSCHUTZ

Stahl ist einer der wohl faszinierendsten Werkstoffe, den Menschen je geschaffen haben.

Die Sortenvielfalt von Stahl ist bestehend. Formen, Querschnitte, Wandstärken und Güteklassen bieten eine nahezu unerschöpfliche Fülle von Möglichkeiten, konstruktive Ideen in die Tat umzusetzen.

Seine günstige Herstellung und seine unbegrenzte Recyclingfähigkeit machen den Stahl klar zur Nummer 1 unter den Metallen. Jährlich werden weltweit rund 1'600 Millionen Tonnen Stahl erzeugt und verarbeitet.

Leider lassen aber Witterungseinflüsse und Luftverunreinigungen den Stahl korrodieren – sprich rosten.

Stahl rostet

Dies ist zwar keine neue Erkenntnis, doch weitaus dramatischer, als dies auf den ersten Blick scheint.

Der jährliche Abbau von ungeschütztem Stahl kann einige μm ($1 \mu\text{m} = 1/1000 \text{ mm}$) bis mehrere Millimeter betragen, je nach Aggressivität der Umgebung.

In der Schweiz verursacht Rost jährlich Kosten von schätzungsweise 4,5 Milliarden Franken. Volkswirtschaftliche Schäden, die entweder von Steuerzahlern (bei öffentlichen Bauten und Anlagen) oder von Bauherren

direkt (im Privatbereich) bezahlt werden müssen.

Derartige Schäden könnten deutlich reduziert werden, wenn man diesem Umstand bei der Planung und der Auswahl eines geeigneten Korrosionsschutzsystems mehr Beachtung schenken würde.

Rost vernichtet:

4,5 Milliarden Franken pro Jahr
5 Tonnen Stahl pro Sekunde

Weltweit gehen pro Sekunde schätzungsweise 5t Stahl durch Rost verloren.



Dass man in der heutigen Zeit die geschaffenen Werte möglichst lange erhalten sollte, ist nicht nur ein Gebot der Wirtschaftlichkeit, sondern vor allem auch ein solches des Umweltschutzes.

Zudem sollten auch die Aspekte Nachhaltigkeit und Ressourceneffizienz nicht unbeachtet bleiben (siehe «Fakten zur Nachhaltigkeit» Seite 15).

Korrosionsschutz bedeutet auch Sicherheit

In jüngster Zeit führte der Zwang nach Einsparungen bei Material und Energie vermehrt zur Leichtbauweise. Und diese Tendenz wiederum erzwingt einen hochwertigen Korrosionsschutz, weil eine Schwächung solcher Konstruktionen durch Korrosion bei dieser Bauweise aus Sicherheitsgründen nicht toleriert werden kann.

Wer mit Stahl baut, muss dem Korrosionsschutz höchste Aufmerksamkeit widmen

Was muss ein guter Korrosionsschutz können?

Ein guter Korrosionsschutz muss langlebig, zuverlässig und wirtschaftlich sein und darf weder vorzeitig altern noch systembedingte Schwachstellen aufweisen.

Welchen Einflüssen kann eine Konstruktion im Alltag ausgesetzt sein, die bereits bei der Planung berücksichtigt werden sollten?

Mechanische Einflüsse

Handling, Transport, Montage, Steinschlag, Sandabrieb, Stöße, Kratzer, Schrammen, Vandalismus etc.

Derartig mechanische Einflüsse können die Funktionsfähigkeit eines Schutzsystems reduzieren oder gar aufheben.

Gestalterische Einflüsse

Spalten und Fugen, unzugängliche Stellen, scharfe Profilkanten, flach liegende Profile, frei liegende Schraubenköpfe, Hohlkörper etc.

Dies sind alles «eingebaute» Angriffspunkte für Korrosion.

Klimabedingte Einflüsse

Korrosivitätskategorie am Einsatzort, starke Befeuchtung durch Kondensation, UV-Strahlung etc.

Verschiedene klimatische Ausprägungen stellen logischerweise auch unterschiedliche Anforderungen an ein Korrosionsschutzsystem (siehe Tabelle «Korrosivitätskategorien» im Anhang auf Seite 20).

Fehlentscheidungen bei der Planung können verheerende Kostenfolgen auslösen

Deshalb eignet sich nicht jedes Schutzsystem an jedem beliebigen Standort und mit denselben Belastungsfaktoren gleichermassen.

Wichtige Entscheidungskriterien

Wirtschaftlichkeit

Langlebigkeit

Mechanische Einflüsse

Gestalterische Einflüsse

Klimatische Einflüsse

Verzinken ist nicht gleich Verzinken. Und selbst Feuerverzinken ist nicht gleich Feuerverzinken. Es gibt verschiedene Verfahren, Stahl durch Zink vor Korrosion zu schützen. Unterschiedliche Verzinkungsverfahren bieten aber logischerweise auch ein unterschiedliches Leistungsspektrum mit unterschiedlichen Merkmalen.

Diese Broschüre befasst sich bezüglich Verzinkungsverfahren insbesondere mit dem Feuerverzinken beziehungsweise dem Stückverzinken nach EN ISO 1461. Denn dieses Verfahren ist das meist verbreitete Verzinkungsverfahren im Baubereich (andere Verzinkungsverfahren siehe Tabelle «Verzinken ist nicht gleich Verzinken» auf Seite 21).

Nach einer anschliessenden Flussmittelbehandlung werden sie in eine etwa 450 Grad Celsius heisse Zinkschmelze eingetaucht. Der Stahl erwärmt sich hierbei auf die Temperatur des Zinkbades und reagiert mit dem Zink. Auf der Werkstoffoberfläche bilden sich verschiedenartige Eisen-Zink-Legierungsschichten. Beim Ausziehen aus der Zinkschmelze bildet sich in der Regel noch eine zusätzliche, glänzende Reinzinkschicht. Es ist allerdings auch möglich, dass der gesamte Überzug nur aus Legierungsschichten besteht.

**Durch das Tauchverfahren innen und aus-
sen bis in die hinterste Ecke geschützt**

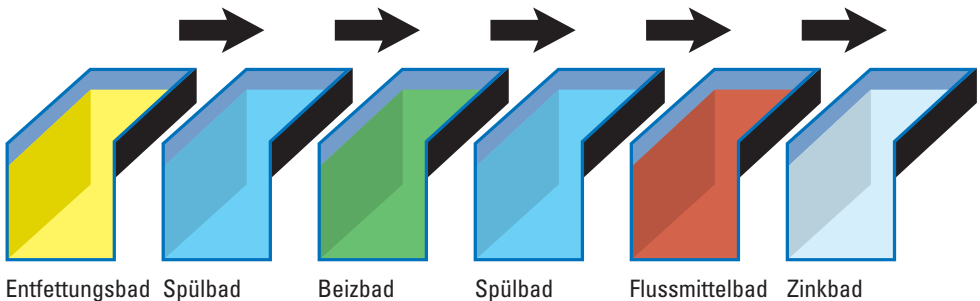
Feuerverzinkung/Stückverzinkung ist ein aktiver Korrosionsschutz: Zink bildet unter Bewitterung eine schützende Patina, wird dabei dunkler und matter und verschliesst kleinere Beschädigungen

Verfahrensablauf

Beim Stückverzinken werden die Stahlteile in der Feuerverzinkerei zunächst entfettet und danach in verdünnter Mineralsäure metallisch blank gebeizt.

Hinweis

Das metallische Aussehen von Stahl bleibt beim Feuerverzinken ebenso unverwechselbar erhalten wie seine Oberflächenstruktur. Abhängig von der chemischen Zusammensetzung und der Dicke des Stahls kann das Aussehen des Zinküberzuges blumig, blumenlos, hell, dunkel, glänzend oder matt sein.



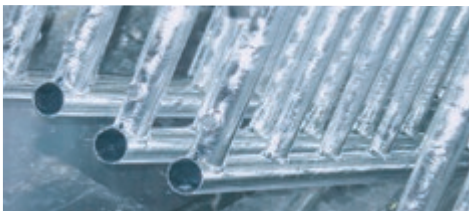
Die wichtigsten Vorteile der Feuerverzinkung auf einen Blick (Stückverzinkung gemäss EN ISO 1461)

- **Hohlraumschutz/Rundumschutz**
- **kathodischer Schutz bei kleinen Verletzungen**
- **kurze Termine und Transportservice**
- **hohe mechanische Beständigkeit und Abriebfestigkeit**
- **kein Unterrosten der Legierungsschichten (Eisen/Zink)**
- **optimaler Kantenschutz**
- **umweltfreundlicher Korrosionsschutz ab Werk**
- **Wartungsfreiheit über Jahrzehnte**
- **einbaufertige Teile**
- **extrem hohe Schutzdauer**
- **unschlagbare Wirtschaftlichkeit im Langzeitbereich**

Hohlraumschutz/Rundumschutz

Durch den Tauchprozess in flüssiges Zink werden Konstruktionen auch an Stellen geschützt, zu denen man mit Roller, Pinsel oder Spritzpistole gar nicht hinkommen könnte.

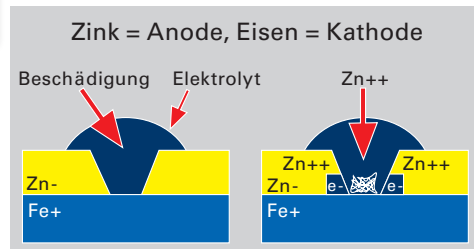
Rohrprofile und Behälter werden durch die Feuerverzinkung auch an deren Innenflächen dauerhaft vor Rost geschützt.



Kathodischer Schutz

Ein Bereich, der korrosionstechnisch erfahrungsgemäss problematisch sein kann, sind kleine Schäden an Stahlkonstruktionen, die beim Transport und der Montage, aber auch im alltäglichen Gebrauch entstehen können (z.B. Kratzer, Schrammen etc.).

Da Zink elektrochemisch unedler ist als Eisen, bewirkt dies bei einer Verletzung des Zinküberzuges und beim Vorhandensein einer ausreichenden Feuchtigkeitsmenge, dass das Zink als Anode laufend Zinkionen abgibt, die sich auf der edleren Kathode, dem Eisen, ablagern und somit verhindern, dass sich an solch blanken Stellen Rost festsetzt oder gar ausbreitet. Das Zink aus der Nachbarschaft schützt also per Fernschutzwirkung vor Korrosion.



Wirksamkeit des kathodischen Schutzes: Länge eines Kratzers unbegrenzt, Breite auf ca. 2mm begrenzt (gilt auch für Schnittkanten).

Kurze Termine und Transportservice

Lieferfristen von lediglich 2 bis 5 Tagen sowie ein eigener Transportservice helfen mit, allfällige Terminrückstände aufzuholen und den logistischen Aufwand zu reduzieren.

Hohe mechanische Beständigkeit und Abriebfestigkeit

Die Feuerverzinkung ist hart im Nehmen. Dies wird besonders geschätzt bei Transport und Montage. Aber auch im Alltag kann eine Konstruktion mechanischen Belastungen ausgesetzt sein (z.B. durch Steinschlag, Sandabrieb, Vandalismus).



Linker Pfosten

Feuerverzinkter Strassenpfosten mit mechanischen Beschädigungen: **Keine Rostbildung** dank hoher mechanischer Beständigkeit (und kathodischem Schutz)

Rechter Pfosten

Lackierter Strassenpfosten mit mechanischen Beschädigungen: **Rostbildung**

Kein Unterrosten der Legierungsschichten

Sollte es bei der Feuerverzinkung trotzdem einmal zu einer grösseren Fehlstelle kommen (z.B. durch Vandalismus, Steinschlag etc.), wo selbst der kathodische Schutz nicht mehr funktioniert, so kann sich diese schadhafte Stelle nicht weiter ausbreiten, da die Legierungsschichten nicht vom Rost unterwandert werden können.



Reinzinkschicht
Zn

Eisen-Zink-Legierungsschichten
Fe + Zn

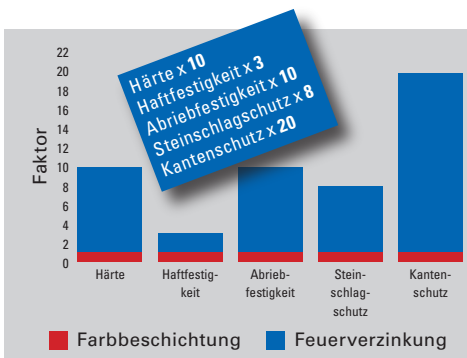
Stahl Fe

Schliffbild eines Zinküberzuges, ca. 200:1

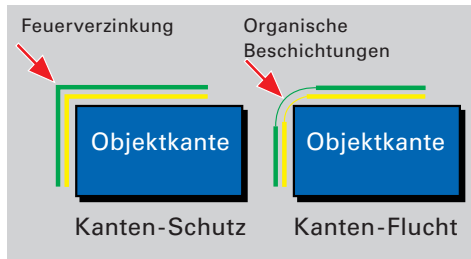
Optimaler Kantenschutz

Korrosionstechnisch sind Bauteilkanten stets problematischer als glatte Flächen an einer Konstruktion. Sie sind durch mechanische Einflüsse stärker gefährdet als andere Bereiche.

Bei herkömmlichen Schutzsystemen bewirkt der physikalische Effekt der «Kantenflucht», dass sich Flüssigkeiten aufgrund ihrer Oberflächenspannung stets von Bauteilkanten zurückziehen, was zur Folge hat, dass Flüssigbeschichtungen an Werkstoffkanten deutlich dünner ausfallen als auf den benachbarten glatten Flächenbereichen.



Obwohl beim Feuerverzinken das Zink auch flüssig ist, weist eine Feuerverzinkung an Ecken und Kanten keine geringeren Dicken auf als auf glatten Stellen. Dies kommt daher, dass der Aufbau der Legierungsschichten parallel zur Bauteiloberfläche wächst. Im Kantenbereich fächert die Legierungsschicht auf, wobei die vorhandenen Zwischenräume durch metallisches Zink ausgefüllt werden.



Umweltfreundlicher Korrosionsschutz ab Werk

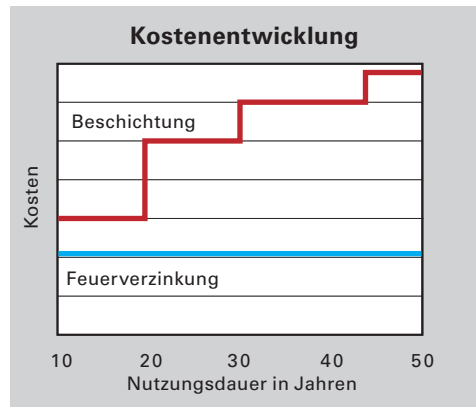
Abluft, Abfälle und Abwärme werden in Feuerverzinkungsbetrieben ständig gereinigt, reduziert, recycelt und rückgeführt. Ausserdem sind die schweizerischen Feuerverzinkereien selbstverständlich auch den Bestimmungen der Luftreinhalteverordnung (LRV) unterstellt. Durch die vielen Umweltschutzmassnahmen, die in diesen Betrieben kontinuierlich vorgenommen werden, ist die Feuerverzinkung auch ein sehr umweltfreundliches Korrosionsschutzverfahren.

Zudem lässt sich feuerverzinkter Stahl am Ende seiner Lebensdauer leicht recyceln und ist damit wiederverwendbar, was dem heutigen Umweltschutzdenken ebenfalls entspricht.

Wartungsfreiheit

Dem Thema Wartung sollte keine untergeordnete Bedeutung beigemessen werden. Denn regelmässige Instandhaltungsarbeiten können die gesamten Lebensdauerkosten eines Schutzsystems massiv in die Höhe treiben. Fehlentscheidungen bei der Auswahl eines geeigneten Schutzsystems können deshalb verheerende Kostenfolgen für den Bauherrn zur Folge haben.

Bei der Feuerverzinkung entfällt über Jahrzehnte jeglicher Wartungsaufwand.



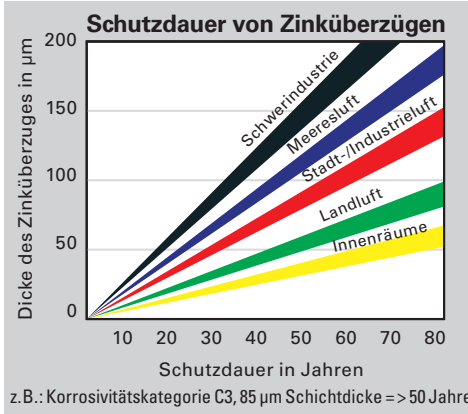
Einbaufertige Teile

Nach der Montage auf der Baustelle beziehungsweise am Einsatzort brauchen feuerverzinkte Teile keine zusätzliche Behandlung mehr (wie z.B. letzter Anstrich etc.). Feuerverzinkte Konstruktionen und Anlagen sind also sofort einsatzbereit.

Extrem hohe Schutzdauer

Einer der grössten Vorteile der Feuerverzinkung ist ihre extrem lange Schutzdauer. Kein anderes Schutzsystem erreicht

auch nur annähernd solche Werte wie die Feuerverzinkung.



Die Schutzdauer einer Feuerverzinkung ist einerseits abhängig von der Abtragsrate am Standort, wo eine Konstruktion aufgestellt wird, und andererseits von der Zinkschichtdicke auf der jeweiligen Konstruktion (siehe Tabellen Seite 20+23). Die durch Umweltschutzmassnahmen (Emissions-Begrenzungsmaßnahmen) in den vergangenen Jahren massive Reduktion der SO₂-Belastung hat erfreulicherweise dazu geführt, dass die Abtragsraten für Zink im Zeitraum 1986 bis 2000 für sämtliche Atmosphärentypen massiv gesunken sind. Man spricht von ca. 75%. Dadurch hat sich die Schutzdauer von Zinküberzügen nochmals massiv verlängert.

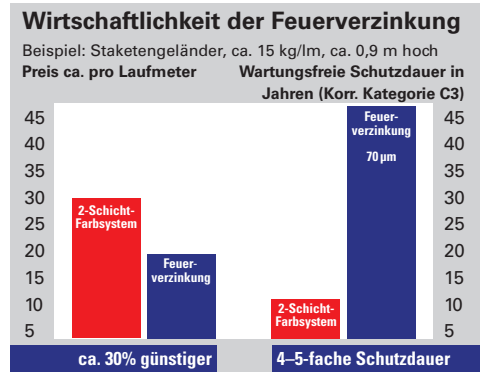
Wirtschaftlichkeit

Der grösste Vorteil der Feuerverzinkung ist, nebst der Schutzdauer und dem Hohlraumschutz, die Wirtschaftlichkeit. Insbesondere im Langzeitbereich weist sie ein unschlagbares Preis-/Leistungs-

verhältnis auf. Aber auch bereits bei den Erstkosten bietet die Feuerverzinkung bei den meisten Konstruktionsarten deutliche Kostenvorteile gegenüber alternativen Beschichtungssystemen.

Da die geforderte Nutzungsdauer von Objekten normalerweise deutlich über der Schutzdauer von Korrosionsschutzsystemen liegt, müssen bei einer umfassenden Wirtschaftlichkeitsbetrachtung sowohl die Erstkosten als auch die Folgekosten (Unterhalts- und Sanierungskosten) berücksichtigt werden.

Im Wesentlichen wird die Wirtschaftlichkeit von Korrosionsschutzsystemen durch die Schutzdauer des jeweiligen Systems bestimmt.



Wichtig ist also, dass man ein Schutzsystem nicht nur auf Grund seiner Erstkosten beurteilt. Wer nämlich bei den Erstinvestitionen zu Lasten der Qualität spart, bezahlt später mit Sicherheit eine viel höhere Zeche. Denn «billig» ist selten auf Dauer auch preiswert. Allerdings ist ein hoher Preis nicht zwangsläufig

auch ein Qualitätsindikator, denn ein gutes Schutzsystem muss nicht zwingend auch teuer sein.

Die Feuerverzinkung bietet zudem den Vorteil, dass die Kosten in der Regel nach dem Gewicht des Verzinkungsgutes und nicht – wie bei Beschichtungen üblich – nach der Oberfläche berechnet werden. Dieser Umstand kommt dem Trend der Zeit entgegen, nämlich der gewichts- und damit auch kostensparenden Leichtbauweise.

Praxisbeispiel

Parkhaus C, Flughafen Zürich-Kloten

- 4'850 Tonnen Stahl
- 95'000 m² Oberfläche



Entscheidungsgründe der Bauherrschaft für die Feuerverzinkung:

- 40% günstiger bei den Erstkosten gegenüber einem 3-Schicht-Farbsystem
- mindestens 30 Jahre längere unterhaltsfreie Nutzungsdauer
- kathodischer Schutz (keine Korrosion bei kleineren Beschädigungen)

Die Feuerverzinkung, im Prinzip ein einfacher Verfahrensablauf, stellt jedoch durch das Tauchsystem und die ca. 450 Grad Celsius heiße Zinkschmelze einige wichtige Anforderungen an die Planung und die Konstruktion der einzelnen Werkstücke (verzinkungsgerechtes Konstruieren). Die Einhaltung dieser Regeln ist allerdings mit keinem besonderen Aufwand verbunden.

Unter anderem betrifft dies das Vermeiden toter Ecken und Winkel, damit das flüssige Zink überall ungehindert zu- und abfließen kann. Bei Hohlprofilen sind Zinkeinlauf- und Entlüftungslöcher vorzusehen, ebenso sind Aufhängemöglichkeiten anzubringen. Auch beim Schweißen vor und nach dem Feuerverzinken sind einige Regeln zu beachten, und die für das Feuerverzinken vorgesehenen Bauteile sollten frei von «artfremden» Verunreinigungen, wie Reste von Farbbeschichtungen, Rückstände von Schweißschlacken, Signierungen und Schweißspray sowie möglichst frei von

Fetten und Oelen angeliefert werden. Zudem sollten die maximalen Abmessungen der zu verzinkenden Teile den zur Verfü gung stehenden Verzinkungsbädern angepasst werden. Konkret heisst dies, dass sperrige Teile möglichst vermieden werden sollten, was sich nicht nur positiv auf die Verzinkungsqualität, sondern auch auf die Verzinkungskosten auswirkt.

Schweiss-Spray

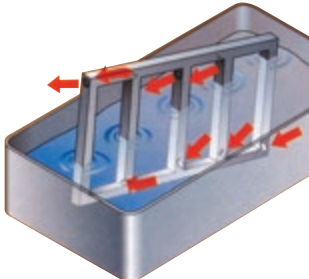
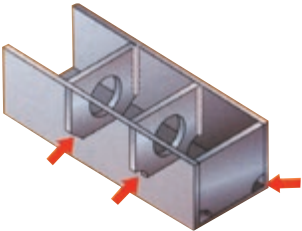
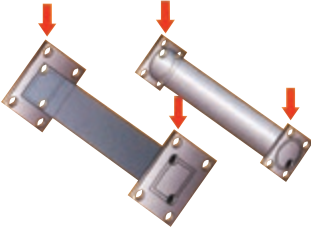
Um Fehlstellen beim Verzinken zu vermeiden, sollte man darauf achten, nur fett- und silikonfreie Produkte zu verwenden und diese nur sehr sparsam aufzutragen.

Schnittkanten

Schnittkanten im Autogenverfahren oder im Laserverfahren hergestellt, führen zu Gefügeveränderungen auf den Schnittflächen. Dadurch kann die Zinkaufnahme erschwert werden, was zu geringeren Schichtdicken und Haftungsproblemen führen kann.

Empfehlung: Kanten brechen und bearbeitete Flächen anschleifen.

Konstruktive Hinweise

Zulauf- und Entlüftungslöcher vorsehen	Tote Ecken und Winkel vermeiden	Aufhängemöglichkeiten anbringen
		

Schweissnähte

Um ein übermässiges Aufwachsen der Schweissnähte beim Feuerverzinken zu vermeiden ist es ausschlaggebend, dass man Si-arme Schweisszusätze verwendet.

Höherfeste Stähle

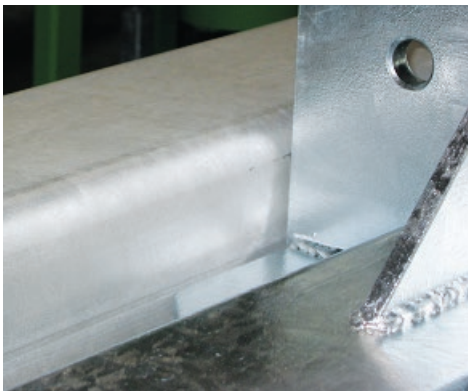
Bei Bauteilen und Konstruktionen aus höherfesten Stählen muss die Verzinkerei im Vorfeld schriftlich orientiert werden.

Stahlsortenauswahl

Auch der Stahlsortenauswahl kommt eine gewisse Bedeutung zu. Ob eine Feuerverzinkung nämlich hellglänzend oder mattgrau ausfällt, hängt nicht vom guten Willen der Verzinkerei ab, sondern – nebst Materialdicke und Tauchdauer – vorwiegend vom Silicium- und Phosphorgehalt im Stahl (siehe Tabelle «Einfluss von Silicium- und Phosphorgehalt» auf Seite 22).

Empfehlung: Bei Stahlbestellungen den Vermerk: «Material zum Feuerverzinken geeignet, sowie frei von Schuppen, Überfaltungen und dergleichen» anbringen.

Beispiele aus der Praxis



Wer seine Konstruktion farbig haben möchte, braucht deshalb nicht auf die vielen Vorteile einer Feuerverzinkung zu verzichten. Auch feuerverzinkte Gegenstände lassen sich zusätzlich mit Farbe beschichten.

Duplex bedeutet:

Die Kombination einer Feuerverzinkung mit einer zusätzlichen Farbbeschichtung

Wann eignet sich Duplex?

Sobald:

- Farbe als gestalterisches Element eingesetzt werden soll
- Tarnung oder Signalgebung verlangt wird
- eine noch längere Schutzdauer erzielt werden soll
- der Einsatz in besonderen Anwendungsbereichen stattfindet (z.B. in sehr aggressiver Atmosphäre)

Voraussetzungen und Beschichtungsvarianten

Die korrekte Haftung der Farbschicht auf der Zinkschicht ist die grösste Herausforderung für den Fachmann bei einem Duplex-System.

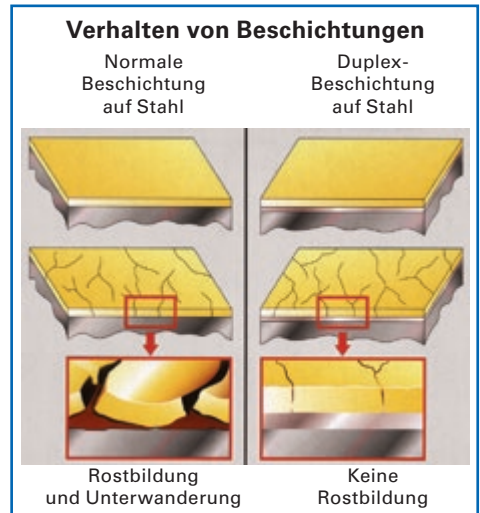
Deshalb ist eine einwandfreie Oberflächenvorbereitung die Grundvoraussetzung für ein funktionierendes Duplex-System. Diese wird entweder mittels Feinstrahlen (Sweepen) oder einer chemischen Vorbehandlung erreicht.

Die anschliessende Farbbeschichtung erfolgt entweder mit Nasslack (z.B. 2K Epoxy-Grundierung mit 2K PU-Decklack) oder mit einer Pulverbeschichtung (z.B. 1 x Polyester Pulverlack). Beide Verfahren (Nass und Pulver) eignen sich hervorragend für ein Duplex-System.

Die Zusammensetzung der Beschichtungsstoffe hat einen erheblichen Einfluss auf die Eigenschaften und die Schutzdauer eines Duplex-Systems. Deshalb kommt der Auswahl geeigneter und auf den Einsatzzweck abgestimmter Produkte eine ganz besondere Bedeutung zu. Der Beizug eines Fachmannes ist zu empfehlen.

Die Wirkungsweise von Duplex

Standortabhängig kommt es früher oder später überall durch Temperatureinflüsse, Verunreinigungen, UV-Strahlung oder mechanische Einwirkungen zu Beschädigungen der Farbschicht. Befindet sich der Farbüberzug direkt auf dem Stahl, so wird durch derartige Risse oder Poren Feuchtigkeit und Luftsauerstoff bis zum Stahl vordringen können. Dort bildet sich dann Rost, der die Farbschicht unterwandert und diese vom Stahluntergrund abstösst.



Duplex-System (Zink und Farbe)

Beim Duplex-System kann es natürlich ebenfalls im Laufe der Zeit zu solchen Rissen und Poren in der Farbschicht kommen. Und auch dann kann selbstverständlich Feuchtigkeit und Sauerstoff die Farbe durchdringen. Diese Stoffe gelangen jedoch nicht bis zum Stahl, sondern werden von der darunterliegenden Zinkschicht aufgehalten. Die Zinkschicht sorgt also dafür, dass an Stellen, an denen die Farbschicht schadhaft ist, keine Korrosion entsteht. Ein Unterrosten der Farbschicht ist beim Duplex-System also ausgeschlossen.

Zudem sorgt die Farbschicht dafür, dass die atmosphärischen Belastungen die Zinkschicht nicht erreichen und somit der natürliche Alterungsprozess der Feuerverzinkung nicht stattfindet, solange noch Farbe über dem Zink liegt.

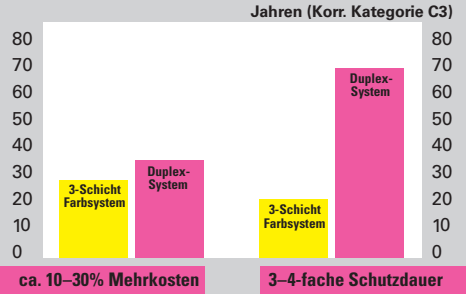
Effekt. Der Verlängerungsfaktor liegt je nach System zwischen 1,2 bis 2,5.

Das Zink verhindert ein Unterrosten der Farbschicht, und die Farbschicht verhindert die natürliche Alterung der Zinkschicht



Kosten-/Nutzen-Verhältnis von Duplex

Beispiel: gerade Träger ab 18m²/t, in grösseren Tonnagen
Preis ca. pro m² Wartungsfreie Schutzdauer in Jahren (Korr. Kategorie C3)



Die Schutzdauer von Duplex-Systemen ist im Regelfall deutlich länger als die Summe der jeweiligen Einzelschutzdauer der beiden Systeme (nur Feuerverzinkung oder nur Farbbeschichtung). Man spricht hier von einem Synergie-

Hinweis

Bei Duplex-Systemen ist zu beachten, dass die Oberfläche der zu beschichtenden Feuerverzinkung verfahrensbedingt ungleichmässig ist. Bei sehr hohen Ansprüchen an die Feinheit der Oberfläche ist der Zinküberzug vom Applikateur der zusätzlichen Farb-Beschichtung (also vom Lackierwerk) entsprechend vorzubereiten (Feinverputzen). Der Farb-Applikateur trägt somit die Verantwortung für die gesamte Optik. Die Feuerverzinkereien verputzen gemäss den Anforderungen in der EN ISO 1461.

Variante Nasslackierung



Decklack

Grundierung

Staubstrahlung (Sweepen)

Feuerverzinkung



Feuerverzinken spart Ressourcen

Korrosionsschutz ist Ressourcenschutz. Dies gilt in besonderem Masse für das Feuerverzinken, das sich durch eine extreme Langlebigkeit auszeichnet. Eine Schutzdauer von vielen Jahrzehnten ohne Wartungs- und Instandhaltungszwang ist die Regel. Im Vergleich mit Beschichtungen verbraucht eine Feuerverzinkung bis zu drei Mal weniger Ressourcen.

Feuerverzinken ist ressourceneffizient

Als sogenanntes LongerLife-Produkt trägt das Feuerverzinken dazu bei, Stahl dauerhafter zu machen und ihm ein längeres Leben zu schenken. Durch Feuerverzinken wird die Nachhaltigkeit und Ressourceneffizienz des Stahls deutlich verbessert.

Feuerverzinken spart CO₂

Eine Feuerverzinkung spart im Vergleich zu Beschichtungen bis zu 114 kg CO₂ pro Tonne Stahl. Eine Studie der TU Berlin errechnete: An einem typischen Parkhaus an dem rund 500 t Stahl verwendet wird, ergibt sich eine Ersparnis von 50 Tonnen CO₂ im Vergleich zu Farbbeschichtungen. Dies entspricht beispielsweise dem CO₂-Verbrauch von 20'000 Litern Benzin.

Feuerverzinkter Stahl wird recycelt

Im Jahr 2006 hat die Europäische Stahlindustrie (EU27) 1'290'750 Tonnen Elektrostahl-Filterstäube produziert, die rund 23 Prozent Zink enthielten. 93% dieses Zinks, das heisst 276'090 Tonnen wurden recycelt.

Feuerverzinkereien arbeiten umweltgerecht

Durch moderne Anlagentechnik konnte in Feuerverzinkereien der Energiever-

brauch in den letzten Jahren deutlich gesenkt werden. Emissionen, die beim Feuerverzinken entstehen, werden gefiltert und kontrolliert, um negative Einflüsse auf die Umwelt zu vermeiden.

Feuerverzinkereien arbeiten kreislaufwirtschaftlich

Nebenprodukte des Verzinkungsprozesses wie Hartzink, Zinkasche oder Säuren werden recycelt oder für die Herstellung von Zinkpräparaten verwendet. Typische Prozess-Verbrauchsstoffe wie Salzsäure und Flussmittellösungen werden kreislaufwirtschaftlich recycelt oder wieder aufbereitet. Zum Beispiel werden «verbraachte» Salzsäurelösungen zur Produktion von Eisenchlorid verwendet, das bei der Aufbereitung von städtischem Abwasser genutzt wird.

Zink ist nachhaltig und lebensnotwendig

Zink kann ohne Qualitätsverlust (Downcycling) beliebig oft recycelt werden. Rund 80 Prozent des zum Recycling zur Verfügung stehenden Zinks werden recycelt. Zudem ist Zink als ein in der Natur in Gesteinen und Mineralien vorkommendes Element lebensnotwendig für Mensch, Tier und Pflanze.

Feuerverzinken spart Energie

Der Brutto-Energiebedarf für das Feuerverzinken ist zwischen 3,4 – 5,3 MJ/kg angesiedelt. Dies ist vor dem Hintergrund einer sehr langen Schutzdauer und dem Verzicht auf energieintensive Wartungsarbeiten ein sehr geringer Wert. Im Vergleich mit anderen Korrosionsschutzsystemen wie Farbbeschichtungen entsteht damit ein deutlich geringerer Energieaufwand zur Erhaltung von Stahlkonstruktionen.

Produkte-Bezeichnung

Anwendungsbereiche

Farbtöne/Glanzgrad

Wartungsfreie Schutzdauer (Korrosivitätskategorie C3)

Kostenvergleich:
gerade Staketengeländer
gerade Stahlbauprofile, von 18 bis 25 m²/t

Wirtschaftlichkeit im Stahlbau
Wertverlust der Investitionskosten in % pro Jahr

Allgemeiner Ausschreibungstext für Werkskorrosionsschutz:

- Entfernen von Schweissperlen
- Entgraten/Kanten brechen
- UV-beständige Deckbeschichtung bei Aussenanwendung
- Schichtdickenangaben sind Sollschildicken nach EN ISO 12944
- Mindestschichtdicke = 0,8 x Sollschildicht

Allgemeiner Ausschreibungstext für Feuerverzinkung und Duplex-Systeme:

- Entfernen von Schweissperlen
- Entgraten/Kanten brechen
- Alle Ecken ausklinken
- Bei Hohlräumen genügend grosse Entlüftungs- und Ausflusslöcher vorsehen
- Die gesamte Konstruktion ist feuerverzinkungsgerecht zu konstruieren und zu fertigen

Kostenvergleiche:

- Ausgangsbasis bildet das 1-Schicht-System 60 µm mit Preisbasis 100%

1-Schicht

Im Innern (ohne Feuchtbereiche)

trockenes Klima, geschlossene Hallen,
geringe UV-Belastung
Stahlbau

einige RAL-Töne
matt bis seidenmatt



1 bis 3 Jahre im Freien (nicht geeignet!)
(ca. 15 Jahre im Innern, ohne Feuchtbereiche)

100%

100%

33,3%

Beschichtet im Werk

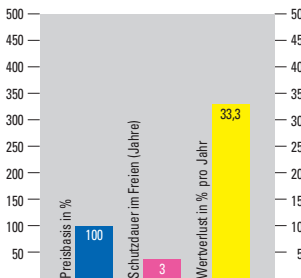
Strahlen, Normreinheitsgrad Sa 2 1/2

1 x 2K-Grundbeschichtung 60 µm
oder

1 x Polyester Pulverbeschichtung 60 µm

Gesamtsollschichtdicke 60 µm

Farbton: _____



2-Schicht

Im Innern und im Freien

Hallen, Stadt- und Landatmosphäre
Stahlbau/Metallbau

NCS, RAL etc.
matt bis glanz



ca. 8 bis 10 Jahre im Freien
(ca. 30 Jahre im Innern, ohne Feuchtbereiche)

140%

175%

17,5%

Beschichtet im Werk

Strahlen, Normreinheitsgrad Sa 2 1/2

1 x 2K-Grundbeschichtung 60 µm

1 x 2K-Deckbeschichtung 60 µm

Gesamtsollschichtdicke *120 µm

*bei direkter Bewitterung 160 µm

oder in Pulver:

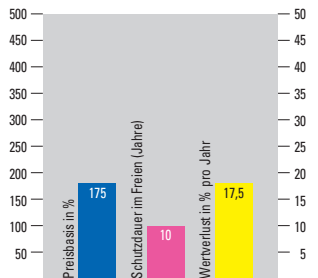
1 x Epoxy-Grundbeschichtung 60 µm

1 x Polyester- oder

Polyurethan Deckbeschichtung 60 µm

Gesamtsollschichtdicke 120 µm

Farbton: _____



3-Schicht

Im Innern und im Freien

auch in Nassbereichen und in aggressiver Umgebung

Stahlbau/Metallbau

NCS, RAL etc.
matt bis glanz



ca. 15 bis 19 Jahre im Freien

200 %

225 %

11,8 %

Beschichtet im Werk

Strahlen, Normreinheitsgrad Sa 2½

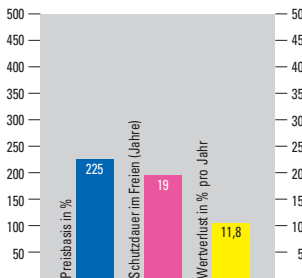
1 x 2K-Grundbeschichtung 60 µm

1 x 2K-Zwischenbeschichtung 80 µm

1 x 2K-Deckbeschichtung 60 µm

Gesamtschichtdicke 200 µm

Farbton: _____



Feuerverzinken

Im Freien und in feuchten Innenbereichen

ohne Farbwahlmöglichkeit, wirtschaftlichstes Langzeit-Korrosionsschutzsystem für Stahl- und Metallbau

Stahlbau/Metallbau

glänzend bis matt, nach einiger Zeit graumatt (infolge Patinabildung)



über 50 Jahre im Freien
(Praxiswerte über 60 Jahre)

110 %

110 %

2,2 %

Feuerverzinkung im Schmelztauchverfahren nach EN ISO 1461

Durchschnittliche Sollschildtdicken:

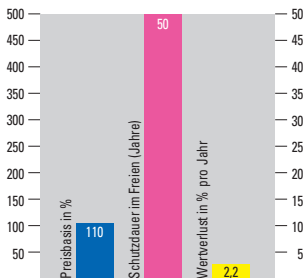
Stahlbau (>6 mm Materialdicke) 85 µm

Metallbau (>3 bis 6 mm Materiald.) 70 µm

Schichtdicken und Nacharbeiten

gemäss EN ISO 1461

Evtl. Richtarbeiten nach dem Verzinken



Duplex

Im Freien und in feuchten Innenbereichen

sowie bei speziellen Belastungen (aggressive Atmosphäre, Schwerindustrie etc.)

Stahlbau/Metallbau

NCS, RAL etc.
matt bis glanz



über 60 Jahre im Freien
(Praxiswerte über 80 Jahre)

225 %

250 %

3,6 %

Feuerverzinkung nach EN ISO 1461, Normgerechte Verputzarbeit (Stahlbau): Abtragen von groben Unebenheiten, Entfernen von Zinktropfen **oder zusätzliches** Feinverputzen (Metallbau): Verschleifen von Unebenheiten etc. gegen Aufpreis

Staubstrahlreinigung (Sweepen)

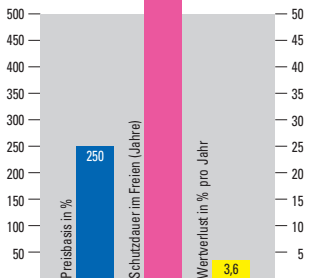
oder chemische Vorbehandlung

1 x 2K-Zwischenbeschichtung 40 µm

1 x 2K-Deckbeschichtung 40 µm

oder 1 x Polyester-Pulverbesch. 80 µm

Farbton: _____







Korrosivitätskategorien Standortabhängige Zink-Abtragsraten pro Jahr			
Korrosivitäts- kategorie	Atmosphärentyp	Korrosions- belastung	Durchschnittlicher Zink-Abtrag pro Jahr
C 1	Innen, trocken	unbedeutend	< 0,1 µm
C 2	Innen: seltene Kondensatbildung Sporthallen, Lagerräume Aussen: ländliche Bereiche	gering	0,1 bis 0,7 µm
C 3	Innen: gelegentliche Kondensatbildung Brauereien, Wäschereien Aussen: Industrie- oder Stadt- atmosphäre bzw. Küstenklima mit geringem Chloridgehalt	mittel	0,7 bis 2,1 µm
C 4	Innen: häufige Kondensatbildung, Chemieanlagen, Schwimmbäder Aussen: Schwerindustriatmosphäre, Küstenklima mit beträchtlichem Chloridgehalt	hoch	2,1 bis 4,2 µm
C 5-I	Gebäude oder Bereiche mit nahezu ständiger Kondensation und mit starker Verunreinigung	sehr hoch	4,2 bis 8,4 µm

Schichtdicken von Zinküberzügen (gemäss EN ISO 1461) (1 µm = 1/1000 mm)		
Materialdicken in mm (Stahl)	Örtliche Schichtdicke (Mindestwert) in µm	Durchschnittliche Schichtdicke (Mindestwert) in µm
< 1,5	35	45
≥ 1,5 bis ≤ 3	45	55
> 3 bis ≤ 6	55	70
> 6	70	85
Gussteile < 6	60	70
Gussteile ≥ 6	70	80

Obige Werte gelten für Teile, die nach dem Feuerverzinken **nicht geschleudert** werden müssen. Schleuderteile (wie z.B. Schrauben, Muttern und andere Kleinteile) weisen verfahrensbedingt tiefere Zinkschichtdicken auf (wird in der EN ISO 1461 so berücksichtigt).

Die praxisüblichen Durchschnittswerte liegen meist höher als die nach EN ISO 1461 geforderten Mindestschichtdicken. Einfluss hierauf haben nebst Materialdicken und Tauchdauer insbesondere die Stahlzusammensetzung (Silicium- und Phosphorgehalt) sowie die Oberflächenrauheit. **Höhere Schichtdicken verlängern die Schutzdauer!**

Verzinken ist nicht gleich Verzinken

Die verschiedenen Verfahren, Stahl durch ZINK vor Korrosion zu schützen

VERFAHREN	Übliche Dicke des Überzuges bzw. der Beschichtung in µm	Legierung mit dem Untergrund	Aufbau und Zusammensetzung des Überzuges bzw. der Beschichtung	Verfahrenstechnik	Nachbehandlung üblich	Unterhaltsfreie Nutzungsdauer im Freien im K. C3 (Jahre)
A. ÜBERZÜGE						
Feuerverzinken						
a) Diskontinuierlich:						
- Stückverzinken: EN ISO 1461	50–180	Ja	Eisen-Zink-Legierungsschichten am Stahluntergrund, in der Regel mit einer darüberliegenden Rein-Zinkschicht	Eintauchen in flüssiges Zink	–	40– >100
- Rohrverzinken: DIN EN 10240	50–100	Ja			–	30–50
B) Kontinuierlich:				Durchlaufen durch flüssiges Zink	Chromatieren	3–8
- Bandverzinken DIN EN 10143 bzw. DIN EN 10346	7–25	Ja			–	3–12
- Kontinuierliches Feuerverzinken von Bandstahl	20–40	Ja			–	2–7
- Drahtverzinken DIN 1548	5–30	Ja				
Thermisches Spritzen mit Zink						
- Spritzverzinken DIN EN 2063	80–150	Nein	Überzug aus Zinktropfen mit Oxydhaut	Aufspritzen von geschmolzenem Zink	Versiegeln durch penetrierende Beschichtung	5–15 (versiegelt)
Galvanisches bzw. elektrolytisches Verzinken						
- Einzelbäder DIN 50961	5–25	Nein	Lamellarer Zinküberzug	Zinkabscheidung durch elektrischen Strom in wässrigen Elektrolyten	Chromatieren	2–7
- Durchlaufverfahren	2.5–5	Nein				Nicht geeignet
Metallische Überzüge mit Zinkstaub						
a) Sherardisieren	15–25	Ja	Eisen-Zink-Legierungsschichten	Diffusion Stahl-Zink unterhalb Zn-Schmelztemperatur	–	3–5
b) Mechanisches Plattieren	10–20	Nein	Homogener Zinküberzug, ggf. auf Kupfer-Zwischenschichten	Aufhämmern von Zinkpulver durch Glaskugeln	Zum Teil Chromatieren	2–4
B: BESCHICHTUNG Zinkstaubbeschichtung						
	Dünnschicht 10–20	Nein	Zinkstaubpigment in Bindemittel	Auftragen durch Streichen, Rollen Spritzen	Deckbeschichtung auf Grundbeschichtung abgestimmt	1–2 Nicht geeignet
	Normalsch. 40–80					2–4
	Dickschicht 60–120					3–7

Einfluss von Silicium- und Phosphorgehalt im Stahl auf das Aussehen und die Schichtdicke von Zinküberzügen

Nr.	Silicium und Phosphorgehalte in %	Zinküberzug
1	Si ≤ 0,04% und P < 0,02%	Normale Eisen-Zink-Reaktion, silbrig glänzender Überzug, normale Schichtdicke
2	Si > 0,04% bis ≤ 0,14%	Sandelin-Bereich , beschleunigte Eisen-Zink-Reaktion, graue Zinkschicht, hohe Schichtdicke
3	Si > 0,14% bis ≤ 0,25%	Sebisty-Bereich , normale Eisen-Zink-Reaktion, silbrig mattes Aussehen, mittlere Schichtdicke
4	Si > 0,25%	Beschleunigte Eisen-Zink-Reaktion, mattgrau, hohe Schichtdicke, mit zunehmendem Si-Gehalt graues Aussehen

Die Übergänge zwischen den einzelnen Bereichen sind fließend und hängen u.a. von der Art der Konstruktion, der Tauchdauer und der Temperatur der Zinkschmelze ab. In den oberen Grenzbereichen beschleunigen Effekte, die von der Topografie der Oberfläche ausgehen, ebenfalls die Eisen-Zink-Reaktion.

Für die Anwendung der Feuerverzinkung unter gestalterischen oder ästhetischen Gesichtspunkten empfehlen sich insbesondere Stähle gemäss Nr. 1; für allgemeine korrosionstechnische Anwendungen sind primär Stähle gemäss Nr. 3 zu bevorzugen.

Metallpaarungen und Kontaktkorrosion in Verbindung mit feuerverzinktem Stahl

Paarungswerkstoff	Feuerverzinkter Stahl (Flächenverhältnis)	
	verzinkte Oberfläche gross	verzinkte Oberfläche klein
Magnesiumlegierung	G	M
Zink	G	G
Aluminiumlegierungen	G	M
Cadmiumüberzüge	G	M
Baustahl	G	S
Niedriglegierter Stahl	G	S
Stahlguss	G	S
Chromstahl	G	S
Blei	G	S
Zinn	G	S
Kupfer	G	S
nichtrostender Stahl	G	S

G = geringfügige oder keine Korrosion

M = mässige Korrosion (besonders bei Feuchtigkeitseinwirkung) S = starke Korrosion

Wo eignet sich eine Feuerverzinkung?

Wartungsfreie Schutzdauer der Feuerverzinkung in unterschiedlichen Korrosivitätskategorien

Verfahren	Bezugsnorm	Zinkschicht Mindestdicke [µm]	Ausgewählte Korrosivitätskategorien (EN ISO 9223 + EN ISO 14713-1), kürzeste/längste Schutzdauer (Jahre) und Schutzdauerklasse (VL, L, M, H, VH)							
			C2	C3	C4	C5				
Feuerverzinken (Stückverzinken)	EN ISO 1461	70	≥100	VH	33/100	VH	17/33	VH	8/17	H
		85	>100	VH	40/>100	VH	20/40	VH	10/20	H
		100	>100	VH	48/>100	VH	24/48	VH	12/24	H
		130	>100	VH	62/>100	VH	31/62	VH	15/31	VH
		180	>100	VH	86/>100	VH	43/86	VH	21/43	VH
Zinkschichtabtrag in µm je Jahr (1 µm = 1/1000mm)			0,1 bis 0,7	0,7 bis 2,1	2,1 bis 4,2			4,2 bis 8,4		

Lesebeispiel:

85 µm Zinkschichtdicke in Korrosivitätskategorie C4 (Abbau der Zinkschichtdicke zwischen 2,1 µm bis 4,2 µm je Jahr) ergibt eine Schutzdauer von mindestens 20 Jahren (85:4,2) und höchstens 40 Jahren (85:2,1). Die durchschnittliche Schutzdauer beträgt 30 Jahre (20+40:2).

Anmerkung:

Die Werte für die wartungsfreie Schutzdauer wurden auf ganze Zahlen gerundet. Die Zuordnung der Schutzdauerklasse basiert auf dem Durchschnitt der kürzesten und längsten berechneten Schutzdauer bis zur ersten Instandsetzung.

Abkürzungen:

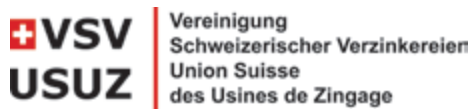
VL = sehr niedrig (Schutzdauer 0 bis < 2 Jahre); L = niedrig (Schutzdauer 2 bis < 5 Jahre); M = mittel (Schutzdauer 5 bis < 10 Jahre); H = hoch (Schutzdauer 10 bis < 20 Jahre); VH = sehr hoch (Schutzdauer ≥ 20 Jahre).

FAZIT:

Die Feuerverzinkung kann grundsätzlich in allen Korrosivitätskategorien eingesetzt werden. Einzig die Schutzdauer ist logischerweise standortabhängig in einem aggressiveren Umfeld (Atmosphäre) wie z.B. in den Kategorien 4 und 5 kürzer als in den Kategorien 1 – 3, da der jährliche Zinkschichtabbau höher ausfällt. Dieses Manko kann aber mit einer dickeren Zinkschicht (soweit technisch möglich) kompensiert werden. Die Zinkschichtdicke ist entscheidend für die unterhaltsfreie Schutzdauer in den einzelnen Korrosivitätskategorien.

Für die Korrosivitätskategorien C2, C3 und C4 eignet sich die Feuerverzinkung hervorragend.

Für die Korrosivitätskategorie C5 empfiehlt sich in der Regel ein Duplex-System. Mit einer entsprechend hohen Zinkschichtdicke kann aber u.U. auch eine reine Feuerverzinkung die von Planer und Bauherren geforderte Schutzdauer erreicht werden.



infos@verzinkereien.ch
www.verzinkereien.ch

Copyright © 2021 by VSV