

## 9 Feuerverzinken

---

### Eigenschaften | Verfahren

- 12 Stärken der feuerverzinkten Stahlkonstruktion
- 14 Feuerverzinkung von Galvaswiss
- 18 Korrosion
- 20 Feuerverzinkungsverfahren
- 24 Aufbau Zinküberzug
- 28 Korrosionsbeständigkeit von Zinküberzügen
- 30 Mechanische und thermische Beständigkeit von Zinküberzügen
- 32 Chemische Beständigkeit von Zinküberzügen
- 36 Kathodischer Schutz von Zinküberzügen

### Feuerverzinkungsgerechtes Konstruieren

- 38 Feuerverzinkungsfreundliche Stahlsorten und Oberflächen
- 46 Vermeiden von Verzug beim Feuerverzinken
- 52 Verzinken von Laserschnittflächen
- 54 Kaltumformung
- 58 Zinkeinlauf- und Luftaustrittsbohrungen
- 64 Ausklinkungen
- 68 Aufdoppelungen
- 70 Lochbleche
- 72 Fett, Öl, Farbe und Schweiss-Schlacke
- 74 Schweiss-Spray
- 76 Flüssigmetallinduzierte Spannungsrisskorrosion
- 78 Kontaktkorrosion

### Feuerverzinken weiterer Stahlsorten

- 82 Verzinken von Armierungsstahl
- 86 Verzinken von Guss

### Tipps und Tricks

- 88 Fehlstellen und ihre Ausbesserung
- 90 Spezielle Nachbearbeitungen
- 92 Korrosionsschutz des Zinks im Erdreich

**Weissrost | Glanzverzinkung**

- 94 Weissrost/Material lagern
- 98 Glanzverzinkung: DUROCLEAR
- 102 Glanzverzinkung: GALVASEAL

**Umwelt**

- 106 Nachhaltiges Bauen mit Feuerverzinkung
- 108 Feuerverzinkung und Beschichtung im Umweltvergleich
- 110 Recycling beim Feuerverzinken
- 112 Zink in der Umwelt

# FEUERVERZINKEN

## Stärken der feuerverzinkten Stahlkonstruktion

skywalk allgäu  
 Stahlbau: Biedenkapp Stahlbau GmbH  
 Korrosionsschutz:  
 Feuerverzinkung von Galvaswiss



### Oberflächen- und Hohlraum-Korrosionsschutz Wirtschaftlichster Langzeit-Korrosionsschutz Kurze Lieferzeiten

#### Korrosionsschutz

- Lebensdauer von mehr als 40 Jahren im Stadt- und Industrieklima
- Korrosionsschutz in Hohlräumen, Winkeln und auf Kanten wirksam
- Schadstellen unterrosten nicht dank kathodischem Schutz durch Zink

#### Wirtschaftlichkeit

- Bei langer Nutzungsdauer von Stahlkonstruktionen in Freibewitterung wirtschaftlicher als alle anderen Korrosionsschutzsysteme
- Ähnliche Erstkosten wie bei 2- bis 3-Schichtsystem mit Nass- oder Pulverlack, jedoch doppelte Lebensdauer
- Ohne Unterhaltskosten während über 40 Jahren im Stadt- und Industrieklima

#### Montagefreundlichkeit

- Kurze Termine, normaler Ablauf 2–3 Tage, Express 5–10 Stunden

- Kaum Montageschäden dank höchster mechanischer Widerstandsfähigkeit der Zinkschicht
- Verzinkte Profile auf der Baustelle schweißbar
- Problemlose Baustellenlagerung und problemloses Baustellenhandling

#### Ästhetik

- Modernes, metallisches und teilweise silbrig glänzendes Aussehen
- Auf Wunsch kann Glanz mit Zusatzbehandlung erhalten werden
- Technischer und lebendiger Baustein der Architektur

#### Umwelt

- Wegfall von Sanierungen vor Ort. Dadurch weniger Energie-, Chemikalien- und Ressourcenverbrauch
- Verzinkung unter kontrollierten Bedingungen im Werk
- Lösungsmittelfrei
- Gesamt-Ökobilanz sehr gut

# FEUERVERZINKEN

## Feuerverzinkung von Galvaswiss

Wirtschaftlich und ökologisch über Jahrzehnte

Architekt: Rolf + Hotz  
Korrosionsschutz:  
Feuerverzinkung von Galvaswiss



**Das langfristig kostengünstigste Korrosionsschutz-System (ab Fr. 14.-/m<sup>2</sup>) für eine unterhaltsfreie Nutzungsdauer von über 35 Jahren**

### Anwendungsbereich

Im Freien (direkt bewittert). In Feuchtbereichen, ohne besondere Ästhetik-Anforderungen. Stahlbau

### Glanzgrad

Graumatt mit der Zeit (Patinabildung)  
Glanzerhalt auf Metallbau- und Schlosserteilen möglich (siehe Seite 98 ff. «DUROCLEAR» oder «GALVASEAL»)

### Unterhaltsfreie Nutzungsdauer

(Korrosivitätskategorie C3/C4 nach DIN EN ISO 12944):  
über 35 Jahre (Praxiswerte bis 60 Jahre)

### Kosten Gerade Staketengeländer

**Ab 15.- bis 25.- CHF/Laufmeter\***

### Gerade Stahlbauprofile

(Bei einer relativen Oberfläche von 20–24 m<sup>2</sup>/t)  
**Ab 14.- CHF/m<sup>2</sup>\***

### Wirtschaftlichkeit im Stahlbau

(Relative Korrosionsschutzkosten in Korrosivitätskategorie C3/C4)  
**Ab 0.40 CHF/m<sup>2</sup>/Jahr**

\* Richtpreis für gerade Serien ab 100 Laufmeter oder 100 m<sup>2</sup>.

# FEUERVERZINKEN

## Feuerverzinkung von Galvaswiss

Wirtschaftlich und ökologisch über Jahrzehnte

### Technische Ausschreibungsdaten

- Entfernen von Schweissperlen
  - Entgraten und Kanten brechen oder anfasen (Radius/Fase ca. 1 mm)
  - Verzinkungsgerechte Konstruktion:
    - An allen Teilstössen Zirkulationsausklüngen
    - Bei Hohlräumen möglichst grosse Zinkeinlauf- und Luftaustrittsbohrungen vorsehen
  - Richtarbeiten (nur für gerade Stahlbauprofile): Toleranz angeben
- |   |                         |
|---|-------------------------|
| <b>• Feuerverzinkung nach DIN EN ISO 1461</b> | <b>min. 55 – 85 µm*</b> |
| <b>• Praxiswerte auf Stahlbau</b>             | <b>ca. 100 – 600 µm</b> |

Für ästhetische Anwendungen besteht die Möglichkeit, mit DUROCLEAR oder GALVASEAL (Feuerverzinkung plus Klarlackierung) den Glanz der frischen Feuerverzinkung zu erhalten (siehe Seite 98 ff. «DUROCLEAR» oder «GALVASEAL»).

Ausschreibungstext mit allgemeinen Informationen siehe Seite 288 f. «Ausschreibungstext Feuerverzinken».

\* Durchschnittliche Zinkschichtdicke nach DIN EN ISO 1461:

- |                           |            |
|---------------------------|------------|
| Bis 3 mm Blechdicke:      | min. 55 µm |
| > 3 mm – 6 mm Blechdicke: | min. 70 µm |
| > 6 mm Blechdicke:        | min. 85 µm |



Doppelmayr Seilbahnen

# Korrosion

## Ursache der Korrosion

Der Begriff «Korrosion» stammt aus dem Lateinischen und bedeutet «zernagen». Wird legierter oder unlegierter Stahl ohne Schutz der Atmosphäre ausgesetzt, so verfärbt sich die Oberfläche nach kurzer Zeit rotbraun: Der Stahl korrodiert – sprich rostet. Eisen hat das Bestreben, sich in Anwesenheit von Sauerstoff und Feuchte unweigerlich in die energetisch günstigste Form, den Rost, zu verwandeln. Das Rosten ist elektrochemischer Natur, kann also nur in Gegenwart einer ionenleitenden Substanz wie Wasser ablaufen. Mit Unterstützung von Wasser und Sauerstoff wird elementares Fe zu ionischem  $Fe^{2+}$  oxidiert und in einer Folgereaktion in Rost umgewandelt.



## Beschleunigte Korrosion und Abtrag

Bei einer relativen Luftfeuchte von weniger als 60% ist die Korrosionsgeschwindigkeit unbedeutend. Sie nimmt aber insbesondere zu

- mit mangelnder Belüftung
- mit steigender Luftfeuchte
- in Anwesenheit von Kondens- oder Niederschlagswasser
- mit zunehmender Verunreinigung der Luft durch Schadstoffe wie Schwefeldioxid, Chloride und Sulfate
- im Boden, Wasser und Salzwasser

## Riesiger volkswirtschaftlicher Schaden durch Rost

In der Schweiz verursacht Rost jährliche Kosten von schätzungsweise 4.5 Milliarden Franken. Weltweit gehen pro Sekunde ca. 5 t Stahl durch Rosten verloren.

## Sauerstoff und Feuchte verwandelt Stahl unweigerlich in Rost

## Sehr grosser volkswirtschaftlicher Schaden durch Korrosion

## Abtrag durch Korrosion

Anwendungsbereich			Dicktenverlust im 1. Jahr [ $\mu\text{m}$ ]	
Innenraum	Aussenbereich	Korrosivitätskategorie	C-Stahl	Zink*
Beheizte Räume z.B. Büros, Läden, Schulen, Hotels	–	C1 (sehr niedrig)	$\leq 1.3$	$\leq 0.1$
Unbeheizte Gebäude, wo Kondensation auftreten kann, z.B. Lager, Sporthallen	Geringe Verunreinigung, ländlicher Bereich, Kleinstädte	C2 (niedrig)	$> 1.3 - 25$	$> 0.1 - 0.7$
Feuchte Produktionsräume mit etwas Luftverunreinigung, z.B. Lebensmittelherstellung, Wäscherei, Brauerei, Molkerei	Stadt und Industrie, mässige Verunreinigung	C3 (mittel)	$> 25 - 50$	$> 0.7 - 2$
Chemieanlagen, Schwimmbäder	Industrielle Bereiche	C4 (hoch)	$> 50 - 80$	$> 2 - 4$
Sehr häufige Kondensation und starke Verunreinigung	Industriebereiche mit hoher Feuchte und aggressiver Luft, Küstenbereiche	C5 (sehr hoch)	$> 80 - 200$	$> 4 - 8$
Nahezu ständige Kondensation und hohe Luftverunreinigung	Industriebereiche mit extremer Luftverschmutzung, Salzsprühkontakt	CX (extrem)	$\gg 200$	$> 8 - 25$

\* Im 1. Jahr ist der Dicktenverlust am grössten. Im 4. Jahr hat er sich bereits um ca. 40% reduziert. Dies ist bei einer Schätzung der Dauer des Korrosionsschutzes durch Zink zu berücksichtigen.

# Feuerverzinkungsverfahren

Reinigung der Stahloberfläche von Fett und Rost

Aktivierung der Stahloberfläche

Eintauchen in flüssige Zinkschmelze führt zu Eisen-Zink-Legierungsschicht und Reinzinkschicht

## Stückverzinken

### 3. Spülbad

Bad zur Reinigung der Oberfläche von Entfettungsmittel

### 4. Beizbad

Um Rost und Zunder von der Oberfläche zu lösen und eine reine Stahloberfläche zu erzielen, werden die Werkstücke in Beizbädern mit verdünnter Mineralsäure (z.B. Salzsäure) behandelt. Inhibitoren verhindern einen Angriff auf den Stahl.

### 5. Spülbad

Bad zur Reinigung der Oberfläche von Beizmitteln

### 6. Flussmittelbad

Im Flussmittelbad erhält die Oberfläche einen dünnen Salz-Film, welcher später beim Eintauchen ins Zinkbad die metallurgische Reaktion zwischen Stahloberfläche und Zinkschmelze unterstützt.

### 2. Entfettungsbad

Für ein gutes Verzinkungsergebnis ist eine gründliche Reinigung der Oberfläche unabdingbar. Fette und Öle werden in einem sauren oder basischen Entfettungsbad von der Stahloberfläche abgelöst.

### 7. Trocknen

Nach der Flussmittelbehandlung wird das Verzinkungsgut getrocknet.

### 8. Zinkbad

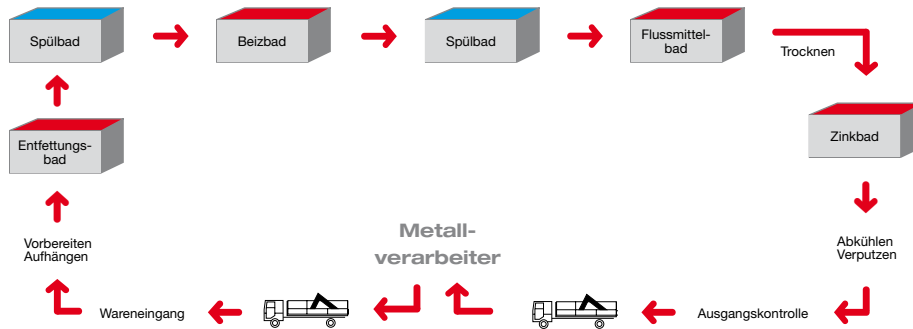
Die vorbereiteten Werkstücke werden in eine flüssige Zinkschmelze von ca. 450 °C getaucht. Während des Verzinkungsvorgangs bildet sich als Folge einer wechselseitigen Diffusion von flüssigem Zink und Stahl auf der Oberfläche des Werkstücks ein Überzug verschiedenartig zusammengesetzter Eisen-Zink-Legierungsschichten. Beim Herausziehen aus dem Bad werden diese mit einer glänzenden Reinzinkschicht überzogen.

### 1. Aufhängen

Die verzinkungsgerechten Werkstücke (siehe Seite 38 ff. «Feuerverzinkungsgerechtes Konstruieren») werden nach der Anlieferung im optimalen Winkel an einer Traverse aufgehängt. Dadurch wird ein sauberer Überzug mit Zink gewährleistet. Für einen reibungslosen und sicheren Ablauf des Prozesses müssen die Werkstücke mit den nötigen Zirkulationsbohrungen versehen sein.

### 9. Nachbehandlung

Die verzinkten Teile werden meist an der Luft abgekühlt. Beim anschließenden Verputzen werden allfällige Zinkläufe, Zinkspitzen und Druckstellen der Aufhängemittel entfernt. Bei Bedarf werden Gewinde, Passungen und Bohrungen vom Zink befreit.





Stückverzinken: Auszug eines Mastes aus dem Zinkbad.



Schleuderverzinkungsanlage



Im Schleuderverfahren verzinkte Kleinteile.

## Weitere Verfahren:

### Schleuderverfahren

Das Schleuderverfahren wird meist bei Kleinteilen (< 2 kg Stückgewicht) eingesetzt.

Die Kleinteile werden nach den Vorbehandlungsbädern in zylindrische Körbe gefüllt. Dadurch ist keine Aufhängung der Einzelteile erforderlich. Der Korb wird im Zinkbad getaucht und sofort nach dem Ziehen zentrifugiert. Anschliessend wird der Inhalt in ein Wasserbad gekippt. Durch das Schleudern wird das überschüssige Zink entfernt, im Wasserbad wird das Zusammenkleben der Teile verhindert.

### Bandverzinken (Sendzimirverfahren)

In kontinuierlich arbeitenden Bandverzinkungsanlagen läuft das Band vom Coil durch einen Glühofen und wird unter Schutzgasatmosphäre der Zinkschmelze in hoher Geschwindigkeit zugeführt. Nach dem Zinkbad wird der Zinküberzug mit Abstreifdüsen gleichmässig verteilt. Nach einer Abkühlstrecke wird es wieder aufgecoilt.

Als Folge der hohen Durchlaufgeschwindigkeit des Bandes ist die Reaktionsdauer zwischen Stahl und Zinkschmelze sehr kurz, was zur Folge hat, dass sich nur eine ausserordentlich dünne Eisen-Zink-Legierungsschicht von wenigen Mikrometern bilden kann. Der überwiegende Teil des Überzuges besteht aus der Reinzinkschicht von ca. 25 µm. Dies hat den Vorteil, dass das feuerverzinkte Band eine gute Kaltumformbarkeit aufweist.



## Aufbau Zinküberzug

### Entstehung und Aufbau

Das Verzinkungsgut wird während des Eintauchens in das Zinkbad auf die Zinkbadtemperatur von ca. 450 °C erwärmt. Durch wechselseitige Diffusion von Zink und Eisen bilden sich Eisen-Zink-Legierungsschichten. Beim Herausziehen aus dem Bad werden die Legierungsschichten üblicherweise mit einer glänzenden Reinzinkschicht überzogen.



Bei dickeren Wandstärken und bei Stählen mit erhöhtem Silizium- und Phosphorgehalt wächst die Legierungsschicht bis zur Oberfläche durch und gibt dieser ein matt-graues Aussehen.

Die Schichtdicken werden hauptsächlich von den Legierungsbestandteilen (Si, P, C, Mn) im Stahl und der Materialstärke beeinflusst (siehe Seite 38 f. «Feuerverzinkungsfreundliche Stahlsorten und Oberflächen»).

### Dicke des Zinküberzuges

Die Schichtdicke des Zinks wird in Mikrometern (1 µm entspricht 1/1000 mm) gemessen und angegeben. Die Norm DIN EN ISO 1461 (siehe auch Seite 296 ff.) legt je nach Materialdicke die Mindestschichtdicken für Zinküberzüge fest. In der Praxis werden jedoch Zinküberzüge erzeugt, die oberhalb der Mindestanforderungen nach Norm liegen. Da die Schutzdauer eines Zinküberzuges primär durch seine Schichtdicke bestimmt wird, ist daher die tatsächliche Schutzdauer in der Regel deutlich länger als gemäss Norm theoretisch ermittelt. Bei Laserblechen, welche einen sehr niedrigen Siliziumgehalt (ca. 0.01%)

### Eisen-Zink Legierungsschichten und Reinzinkschicht

An trockener Luft bildet sich auf der Oberfläche eine Zinkcarbonat-Schutzschicht

Keine Kantenflucht beim Feuerverzinken

aufweisen, werden die gemäss DIN EN ISO 1461 geforderten Schichtdicken oft nicht erreicht. Der Siliziumgehalt des Stahls soll zwischen ca.

0.1 – 0.3% liegen (siehe Seite 38 f. «Feuerverzinkungsfreundliche Stahlsorten und Oberflächen»).

DIN EN ISO 1461, Mindestschichtdicke von Zinküberzügen auf Prüfteilen, die nicht geschleudert wurden (normales Stückverzinken)		
Teile und ihre Dicke	Örtliche Schichtdicke <sup>a)</sup> (Mindestwert in µm)	Durchschnittliche Schichtdicke <sup>b)</sup> (Mindestwert in µm)
Stahl > 6 mm	70	85
Stahl > 3 mm bis ≤ 6 mm	55	70
Stahl ≥ 1,5 mm bis ≤ 3 mm	45	55
Stahl < 1,5 mm	35	45
Guss ≥ 6 mm	70	80
Guss < 6 mm	60	70

<sup>a)</sup> Örtliche Schichtdicke: Mittelwert aus mindestens 5 Einzelmessungen auf einer Referenzfläche von 10 cm<sup>2</sup>. Einzelwerte dürfen auch unter dem Mindestwert liegen.

<sup>b)</sup> Durchschnittliche Schichtdicke: Mittelwert der örtlichen Schichtdicken. Die Anzahl zu messender örtlichen Schichtdicken (Referenzflächen) hängt von der Grösse der Teile ab (> 2 m<sup>2</sup>: ≥ 3 Referenzflächen / > 100 cm<sup>2</sup> bis ≤ 2 m<sup>2</sup>: ≥ 1 Referenzfläche / weitere Details siehe Seite 296 ff. «DIN EN ISO 1461»).

### Ausbildung einer Schutzschicht aus Zinkcarbonat

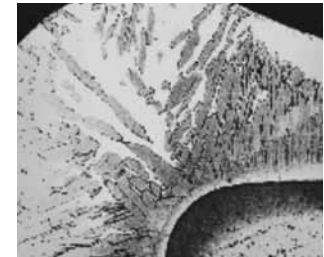
Die «fabrikneuen», glänzenden Zinkoberflächen reagieren mit Sauerstoff und Feuchte zu Zinkhydroxid. Dieses wird in den ersten 1–3 Monaten mittels Kohlendioxid der Luft in Zinkcarbonat umgewandelt, welches eine schwer wasserlösliche Zinkpatina bildet. Diese Patina, welche sich bei trockenen Bedingungen schon nach wenigen Tagen zu bilden beginnt, schützt die Oberfläche und verhindert mit der Zeit die weitere Bildung von Zinkkorrosionsprodukten.

Falls die fabrikneue Oberfläche feucht wird und schlecht belüftet ist und damit kaum Kohlendioxid vorhanden ist, können sich die Zinkhydroxide nicht zu Zinkcarbonat umwandeln. Es entsteht eine weisse Schicht, welche als «Weissrost» bezeichnet wird. Diese kann durch trockene und gut belüftete Lagerung verhindert werden (siehe Seite 94 ff. «Weissrost/Material lagern»).

### Keine Kantenflucht

Die einzelnen Kristalle der Eisen-Zink Legierungsschichten wachsen senkrecht zur Stahloberfläche. An Ecken und Kanten öffnen sich die Legierungsschichten deshalb fächerförmig und die Zwischenräume füllen sich mit Reinzink. Zinküberzüge beim Stückverzinken sind deshalb im Regelfall an Kanten und Ecken mindestens so dick wie in den angrenzenden Flächen – die Kantenflucht, wie sie bei anderen Korrosionsschutzsystemen auftritt (z.B. bei Farbbeschichtungen), stellt sich hier nicht ein.

Um Zinkabplatzungen auf Kanten zu vermeiden, sind die Kanten vorgängig zu brechen.



# Korrosionsbeständigkeit von Zinküberzügen

## Schutzdauer nach DIN EN ISO 14713-1

Typische Umgebung (Beispiele)			Korrosivitäts- kategorie	Dickenerlust Zink im 1. Jahr [µm]*	Kürzeste Schutzdauer* (Jahre) und Schutzdauerklasse (VL, L, M, H, VH)**			
Innenraum	Aussenbereich				Mindestschichtdicke			
					45 µm	85 µm	140 µm	200 µm
Beheizte Räume z.B. Büros, Läden, Schulen, Hotels	–		C1 (sehr niedrig)	≤ 0.1	>100 (VH)	>100 (VH)	>100 (VH)	>100 (VH)
Unbeheizte Gebäude, wo Kondensation auftreten kann, z.B. Lager, Sporthallen	Geringe Verunreinigung, ländlicher Bereich, Kleinstädte		C2 (niedrig)	0.1 – 0.7	64 bis >100 (VH)	100 bis >100 (VH)	100 bis >100 (VH)	100 bis >100 (VH)
Feuchte Produktionsräume mit etwas Luftverunreinigung, z.B. Lebensmittelherstellung, Wäscherei, Brauerei, Molkerei	Stadt und Industrie, mässige Verunreinigung		C3 (mittel)	0.7 – 2	20 bis 64 (VH)	40 bis >100 (VH)	67 bis >100 (VH)	95 bis >100 (VH)
Chemieanlagen, Schwimmbäder	Industrielle Bereiche		C4 (hoch)	2 – 4	10 bis 20 (H)	20 bis 40 (VH)	33 bis 67 (VH)	48 bis 95 (VH)
Sehr häufige Kondensation und starke Verunreinigung	Industriebereiche mit hoher Feuchte und aggressiver Luft, Küstenbereiche		C5-I (sehr hoch)	4 – 8	5 bis 10 (M)	10 bis 20 (H)	17 bis 33 (VH)	24 bis 48 (VH)
Nahezu ständige Kondensation und hohe Luftverunreinigung	Industriebereiche mit extremer Luftverschmutzung, Salzsprühkontakt		CX (extrem)	8 – 25	2 bis 5 (L)	3 bis 10 (M)	6 bis 17 (H)	8 bis 24 (H)

\* Die «kürzeste Schutzdauer» ist hier konservativ berechnet mittels des «Dickenerlust Zink im 1. Jahr». Der Dickenerlust ist im 1. Jahr hoch und nimmt im 2. Jahr bereits um ca. 25%, im 4. Jahr um ca. 40% gegenüber dem 1. Jahr ab (Publikation EMPA, Corrosion Science 44 (2002), Seiten 675–687). In der Praxis kann daher mit bis zu doppelt so langer Schutzdauer, wie hier aufgeführt, gerechnet werden.

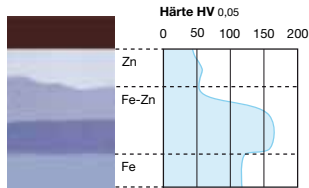
\*\*Schutzdauerklassen:  
 VH: sehr hoch (≥20 Jahre)  
 H: hoch (10 bis <20 Jahre)  
 M: mittel (5 bis <10 Jahre)  
 L: niedrig (2 bis <5 Jahre)  
 VL: sehr niedrig (0 bis <2 Jahre)

Bei einer Verzinkung nach DIN EN ISO 1461 ist je nach Dicke des Stahlteiles eine örtliche Schichtdicke von 35 bis 70 µm vorgeschrieben. Durch höhere Schichtdicke lässt sich eine deutlich längere Schutzdauer erzielen. Höhere Schichtdicken sind verzinkungstechnisch meistens möglich. Besprechen Sie ihre Anforderung mit der Verzinkerei.

## Mechanische und thermische Beständigkeit von Zinküberzügen

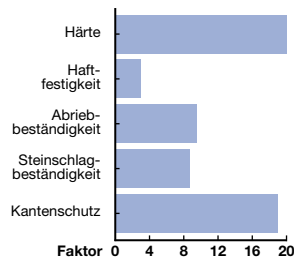
### Mechanische Beständigkeit

Beim Verzinkungsprozess bilden sich mehrere Legierungsschichten aus Zink und Stahl (siehe Seite 24 ff. «Aufbau Zinküberzug»). Die Härte dieser Legierungsschichten liegt erheblich über der Härte von Baustahl.



Zinküberzüge gewährleisten daher einen zuverlässigen Schutz bei mechanischen Belastungen während des Transports und beim Handling und der Montage während der Bauphase. In der Nutzungsphase verhilft die Legierungsschicht zu einer hohen Verschleiss- und

Abriebfestigkeit bei Belastungen wie zum Beispiel Steinschlag oder Sandabrieb. Bei verzinkten Gitterrosten und Gerüststützen bietet der Zinküberzug trotz starker mechanischer Belastung durch Begehen und Befahren jahrzehntelangen Schutz.



Eigenschaftsvergleich Feuerverzinken vs. Beschichten, Faktor um welcher die Feuerverzinkung überlegen ist. (Quelle [www.feuerverzinken.com](http://www.feuerverzinken.com))

Zink-Eisen Legierungsschicht bietet hervorragenden mechanischen Schutz

Feuerverzinkte Teile können bis 200 °C eingesetzt werden

### Thermische Beständigkeit

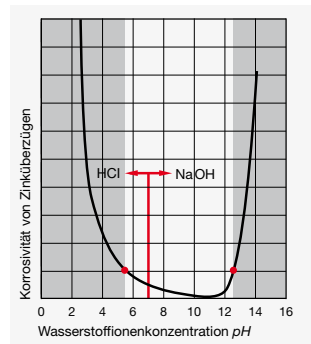
Feuerverzinkte Stahlteile können in der Regel in einem Temperaturbereich bis zu 200 °C eingesetzt werden. Bei höherer Dauerbelastung laufen Diffusionsprozesse zwischen Zink und Stahl ab (sog. Kirkendall-Effekt) und es kann zum Abblättern der Reinzinkschicht kommen. Obwohl die verbleibenden Legierungsschichten weiterhin vor Korrosion schützen, sollten feuerverzinkte Stahlteile (z.B. Wärmetauscher, Kamine) daher aus ästhetischen Gründen nicht in Temperaturbereichen oberhalb 200 °C eingesetzt werden.

# Chemische Beständigkeit von Zinküberzügen

**Beständigkeit der Zinkoberfläche gegen Chemikalien, Wasser, Holz, Erde, Gips, Beton und Metalle**

## Korrosionsbelastung durch Chemikalien

- Gegen die meisten chemischen Belastungen wie durch Öl, Lösungsmittel, Farben, usw. bietet die Feuerverzinkung eine hohe Beständigkeit.
- Zink ist empfindlich gegen Säuren ( $< \text{pH } 5.5$ ) und starke Basen ( $> \text{pH } 12.5$ ).
- Mit zunehmendem Schwefel-Anteil ( $\text{SO}_2$ ) in der Luft (Industrieatmosphäre, saurer Regen) nimmt die Beständigkeit des Zinküberzuges ab.



## Korrosionsbelastung durch Wasser

- In kaltem und hartem Süßwasser sind Zinküberzüge langzeitbeständig.
- Dauerkontakt mit weichem Wasser ( $< 10 \text{ °dH}$ ) und unbelüftetes Schwitzwasser beschleunigt den Zinkabtrag.
- Der Einsatz von Zinküberzügen in Kontakt mit Wasser sollte in der Regel nur unterhalb  $60 \text{ °C}$  erfolgen.
- Zinküberzüge sind langzeitbeständig im Seewasser (Süßwasser).
- Salzwasser greift die Zinkoberfläche an. Die Abtragsrate beträgt ca.  $10 \text{ µm/Jahr}$ .

**Beständig gegen Öle, Lösungsmittel, Wasser und schwache Laugen**

**Empfindlich gegen Säuren und starke Laugen**



Hafenanlage Arbon, Hafenkonstruktion inklusive 150 m Spundwand, Baujahr 1971.

Auch nach 36 Jahren in der aggressiven Wechselwasserzone ist die Feuerverzinkung noch intakt. Schichtdicke Hafenanlage heute um  $40 - 80 \text{ µm}$ .

## Korrosionsbelastung durch Holz

- Die meisten heimischen Hölzer verhalten sich relativ unproblematisch im Kontakt mit Zinküberzügen, wenn diese regelmäßig wieder trocknen können.
- Bei feuchten Bedingungen werden aus Hölzern der Eiche, Kastanie, Rotzeder und Douglasie relevante Mengen an Essigsäure freigesetzt. Bei direktem Kontakt mit feuerverzinktem Stahl kann dies zu Problemen führen. In den Hölzern enthaltene Gerbsäure kann zu einer rot-braunen Verfärbung des Zinks führen. Abhilfe können Distanzstücke oder eine organische Beschichtung schaffen, welche eine Trennung der beiden Werkstoffe ermöglichen.

### Korrosionsbelastung durch Erdreich

- Die Korrosionsanfälligkeit hängt von der Qualität des Bodens ab. Nur in gut belüftetem Boden kann sich eine Zinkpatina bilden, welche langfristig schützt. Meistens wird in Böden ein Duplex-System (Feuerverzinken und Beschichten) eingesetzt. Die Belastung der Böden entspricht der Korrosionsschutzklasse Im 3. Es empfiehlt sich, erdberührte Teile bis ca. 30 – 60 cm über Boden mit einem Schutzanstrich von  $\geq 320 \mu\text{m}$  zu versehen (siehe Seite 92 f. «Korrosionsschutz des Zinks im Erdreich»).

### Korrosionsbelastung durch Gips, Beton und Metalle

- Gips und Gipssandmörtel greifen Zink stark an (siehe Seite 146 ff. «Korrosionsschutz bei Plattenböden»).
- Verzinkte Teile und verzinkter Armierungsstahl lassen sich problemlos einbetonieren. Die Verzinkung schützt optimal gegen die Carbonatisierung und verlängert die Lebensdauer vieler Betonkonstruktionen. Verzinkter Betonstahl erzielt optimale Haftung im Beton (siehe Seite 82 ff. «Verzinken von Armierungsstahl»).
- Bei Berührung mit Kupfer oder anderen Metallen kann elektrolytische Korrosion entstehen (siehe Seite 78 ff. «Kontaktkorrosion»).

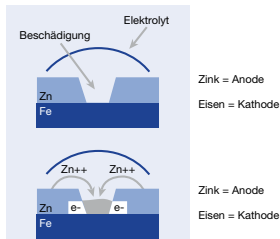
### Korrosionsbelastung durch Tausalze, Urin etc.

- Bei Masten, Kandelabern etc. kann es in Bodennähe zu einer lokal starken Korrosionsbelastung kommen, welche den Zinküberzug langfristig schädigt. Abhilfe schaffen kann in diesen Fällen ein lokaler Schutz durch Schrumpffolie oder andere konstruktive Massnahmen (siehe Seite 92 f. «Korrosionsschutz des Zinks im Erdreich»).

Im Zweifelsfall empfehlen wir, im Voraus mit der Verzinkerei die chemischen Belastungen und ihren Einfluss auf die Korrosionsbeständigkeit zu diskutieren. Zur Beurteilung sind die örtlichen Begebenheiten entscheidend.

## Kathodischer Schutz von Zinküberzügen

Eine Feuerverzinkung ist sehr beständig gegen mechanische Belastungen. Bei extremer Beanspruchung können trotzdem Kratzer und Schrammen auftreten, welche den Zinküberzug lokal so weit zerstören, dass der Grundwerkstoff Stahl freiliegt. In diesem Fall kommt es beim Vorhandensein einer ausreichenden Feuchtigkeitsmenge (Elektrolyt) zur Bildung eines galvanischen Elementes:



Zinkverbindungen verhindern die Korrosion an beschädigten Stellen des Überzuges.

Die Werkstoffpaarung Eisen–Zink bewirkt im Fall einer Oberflächenverletzung die Ausbildung kathodischer (Stahl) und anodischer (Zink)

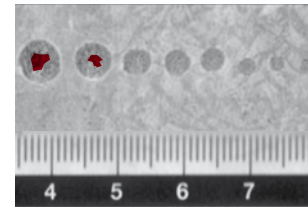
Bereiche. Aufgrund der unterschiedlichen Potentiale gibt das unedlere Zink laufend Zinkionen ab, deren Korrosionsprodukte sich auf der edleren Kathode, dem Eisen, ablagern. Es ist dieser Mechanismus, der dazu führt, dass sich an Kratzern und Schrammen der Rost nicht festsetzt oder gar ausbreitet. Treten Beschädigungen des Zinküberzuges auf, so schützt das angrenzende Zink vor Korrosion.

Allerdings darf die Wirksamkeit dieses Schutzmechanismus nicht überschätzt werden. Je nach Umgebungsbedingungen, Feuchtigkeit und Leitfähigkeit des Elektrolyten ist die Wirksamkeit sehr unterschiedlich. In der Praxis reicht er selten über Distanzen von 2 – 3 mm hinaus. Die Länge eines Kratzers ist somit nicht beschränkt, seine Breite sollte aber 2 – 3 mm nicht überschreiten.

## Kathodischer Schutz heilt Beschädigungen



Kathodischer Schutz an einem Rohr. Wird die Verletzung breiter als 4 – 6 mm, so zeigen sich wie auf diesem Bild in der Mitte erste Rostspuren. Trotzdem werden ein Unterwandern der Verzinkungsschicht und ein weiteres Abplatzen (anders als bei einer Lack-Beschichtung) verhindert.



Reihe von Bohrungen in einem feuerverzinkten Stahlteil. Bei den beiden grössten Bohrungen (5 und 6 mm) sind erste Rostflecken im Zentrum zu erkennen, die kleineren Bohrungen (≤ 4 mm) werden kathodisch geschützt.

Auch neue Schnittkanten an bereits verzinkten Blechen profitieren von diesem elektrochemischen Schutz. Eine mögliche braune Verfärbung der Schadstelle deutet zwar darauf hin, dass eine zeitweise Hemmung der elektrochemischen Reaktion vorhanden ist, z.B. aufgrund einer zu geringen Menge an Elektrolyt. Trotzdem ist diese Erscheinung aber nicht mit einem generellen Versagen des kathodischen Schutzes gleichzusetzen.

Grössere Beschädigungen müssen in konventioneller Weise wie z.B. durch thermisches Spritzen mit Zink oder durch spezielle Zinkstaubbeseichnungen ausgebessert werden (siehe Seite 89 «Fehlstellen und ihre Ausbesserung»).

## Feuerverzinkungsfreundliche Stahlsorten und Oberflächen

Für das Ergebnis des Feuerverzinkungsprozesses sind die chemische Zusammensetzung und die Oberflächenbeschaffenheit des Grundwerkstoffes von entscheidender Bedeutung. Sie beeinflussen die Dicke, Struktur und Qualität des Zinküberzuges.

Die meisten Stähle, z.B. unlegierte Baustähle, Feinkornstähle, Vergütungsstähle, warm- und kaltgefertigte Hohlprofile, Bewehrungsstähle, Stahlsorten für Befestigungselemente sowie Grau- oder Temperguss, können nach DIN EN ISO 1461 feuerverzinkt werden. Auch rostfreie Stähle können teilweise feuerverzinkt werden (als verzinkbar haben sich die Sorten 1.4016, 1.4306, 1.4404 und 1.4435 erwiesen, als ungeeignet 1.4301 und 1.4571). Es besteht jedoch die Gefahr einer Versprödung und es sind in jedem Fall vorgängig Versuche erforderlich.

Legierungselemente wie Kupfer, Nickel, Chrom, Molybdän, Vanadium und Niob, die dem Stahl meist in geringen Gehalten zur Erzielung bestimmter technologischer Eigenschaften zulegiert werden, beeinflussen die Verzinkung im Allgemeinen nicht oder nur in unbedeutendem Masse. Schwefelhaltige Automatenstähle sind normalerweise zum Feuerverzinken nicht geeignet, weil beim Beizprozess Probleme auftreten. Eine spezielle Vorbehandlung ist erforderlich. Silizium und/oder Phosphor haben einen erheblichen Einfluss auf die Schichtbildung. Die DIN EN 10025-2 definiert Klassen des Stahls bezüglich seiner Eignung zum Feuerverzinken abhängig vom Silizium- und Phosphorgehalt.

Bei Laserblechen, welche einen sehr niedrigen Siliziumgehalt (ca. 0,01%) aufweisen, werden die gemäss DIN EN ISO 1461 geforderten Mindestschichtstärken deshalb oft nicht erreicht. Durch Anwendung der IPP-Vorbehandlung (Verfahren Galvaswiss) lassen sich trotzdem normgerechte Schichtstärken erreichen. Dazu ist eine Bearbeitungsdauer von ca. 3 Wochen erforderlich. Bestellen Sie bei Bedarf bei Galvaswiss das «IPP-Verfahren».

Geeignete Stahlsorten ermöglichen eine optimale Verzinkung

Walzfehler können zu Fehlverzinkungen führen

### Einfluss von Silizium und Phosphor auf das Aussehen

Zinküberzug	Klasse nach DIN EN 10025 Gehalt an Silizium/Phosphor	Anmerkung
<b>Niedrigsilizium-Bereich</b> Normale Eisen-Zink-Reaktion, silbrig glänzender Überzug, dünne bis normale Schichtstärke		<b>Klasse 1</b> $\text{Si} < 0.03\%$ $\text{Si} + 2.5\text{-P} \leq 0.9\%$ Geeignet zum Feuerverzinken. Bei Laserblechen können mit dem normalem Verzinkungsprozess die Mindestschichtstärken oft nicht erreicht werden. (IPP-Verfahren)
<b>Sandelin-Bereich</b> Beschleunigte Eisen-Zink-Reaktion, graue Zinkschicht, hohe Schichtstärke		$0.03\% \leq \text{Si} \leq 0.14\%$ Geeignet zum Feuerverzinken. Effekt tritt bei den Zinkbädern von Galvaswiss nur in stark abgeschwächter Form auf.
<b>Sebisty-Bereich</b> Normale Eisen-Zink-Reaktion, silbrig mattes Aussehen, mittlere Schichtdicke		<b>Klasse 3</b> $0.14\% \leq \text{Si} \leq 0.25\%$ $\text{P} < 0.035\%$ Geeignet zum Feuerverzinken.
<b>Hochsilizium-Bereich</b> Beschleunigte Eisen-Zink-Reaktion, mattgrau, hohe Schichtdicke, mit zunehmender Si-Gehalt graues Aussehen		$\text{Si} > 0.25\%$ Geeignet zum Feuerverzinken. Hohe Schichtstärken.

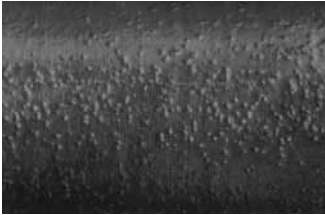


## Eigenschaften von Legierungsbestandteilen der Stähle im Zusammenhang mit dem Feuerverzinken

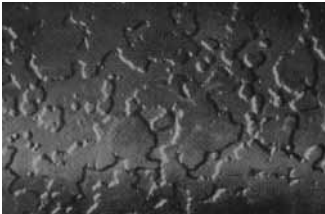
Legierungsbestandteil	Einfluss auf Vorbehandlung	Einfluss auf Verzinken
<b>Silizium (Si)</b>	Geringe Mengen bleiben ohne Wirkung, höhere hemmen den Beizangriff.	$0.03\% < Si < 0.14\%$ und speziell $> 0.28\%$ führt zu progressiver Zunahme der Reaktionsfreudigkeit, einhergehend mit dickeren Zinkschichten. Bei Laserblechen ist der Siliziumgehalt oft sehr tief (0.01%). Dies kann zu Schichtstärken führen, welche unterhalb der Anforderungen von DIN EN ISO 1461 liegen.
<b>Phosphor (P)</b>	Bei gleichzeitiger Anwesenheit von Kupfer, erhöht Phosphor die Löslichkeit in Mineralsäure (evtl. Beizfehler).	Von 0.07 – 0.1% Zunahme der Reaktionsfreudigkeit, einhergehend mit dickeren Zinkschichten und schlechterer Haftung. Bei Anwesenheit von Si verstärkt sich die Reaktionsfreudigkeit.
<b>Kohlenstoff (C)</b>	Keine bekannt	Zunahme der Reaktionsfreudigkeit, einhergehend mit dickeren Zinkschichten.
<b>Kupfer (Cu)</b>	Die Rost- und Zunderschichten sind dicker und haften besser, sodass das Beizen erschwert wird. Bei Anwesenheit von P + Si wird das Beizverhalten zusätzlich erschwert.	Wird Stahl bei einem Cu-Gehalt $> 0.05\%$ kalt verformt, so führt dies zur Aufhärtung und Versprödung. Ohne nachträgliches spannungsfrei Glühen kann dies zu Sprödbrüchen führen.

Legierungsbestandteil	Einfluss auf Vorbehandlung	Einfluss auf Verzinken
<b>Mangan (Mn)</b>	Bereits ab 0.2% sehr leichte Löslichkeit. Achtung bei Automatenstahl.	Zunahme der Reaktionsfreudigkeit, einhergehend mit dickeren Zinkschichten und unschönen Oberflächen.
<b>Nickel (Ni)</b>	Erhöht den Widerstand gegen Salzsäure, der Beizprozess läuft langsamer ab.	Wird in verschiedenen Verzinkereien zur Reduktion der Zinkannahme dem Bad zugeführt. Im Zusammenhang mit negativen Vorfällen wird heute von der Kombination Ni + Sn Abstand genommen.
<b>Schwefel (S)</b>	Oft liegt Schwefel in sulfidischen Anteilen vor und so bildet er beim Beizen Schwefelwasserstoff $H_2S$ . Die Lösegeschwindigkeit des Stahls kann damit um bis zu 50% höher sein. Der dabei freigesetzte atomare Wasserstoff diffundiert in den Stahl und kann unter anderem zum wasserstoffinduzierten Sprödbruch führen.	Keine bekannt

## Raue Oberflächen/Überzüge



Pickelförmig ausgebildeter, rauher Überzug.



Rauer Überzug durch ungleichmässige Ausbildung der Eisen-Zink-Legierungsschicht aufgrund der Stahlqualität.



Raue Oberfläche als Folge einer sehr rauhen Stahloberfläche. Die beim Ausziehen aus dem Zinkbad anhaftende Zinkschmelze kann die vorgegebene Oberflächenrauheit nicht mehr ausgleichen.

## Vermeidung/Behebung

- Verwendung von Stahl, welcher zum Feuerverzinken gemäss DIN EN 10025 geeignet und frei von Schalen, Schuppen und Walzungänzen ist.
- IPP-Vorbehandlung: Terminverlängerung um ca. 5 Arbeitstage zur Reduktion von leichten Walzungänzen (Pickelreihen). Zum Beispiel geeignet für Teile, die duplexiert werden.
- Wenn bei Serienaufträgen die Eignung des Stahl zum Feuerverzinken nicht eindeutig ist, empfiehlt sich die Durchführung einer Probeverzinkung unter praxisingerechten Bedingungen.
- Siehe Bestellung von Stahl Seite 45.

## Schalen, Schuppen und Walzungänzen



Langgestreckte Schale in der Oberfläche eines kaltgewalzten Profils nach dem Feuerverzinken.



Schale in der Oberfläche eines warmgewalzten Profils.



Punktförmig und in Walzrichtung verlaufende Unregelmässigkeiten. Auch «Ziehriefen» genannt.

## Beschreibung

Schalen, Schuppen und Ziehriefen sind meist in Profilrichtung verlaufende Unregelmässigkeiten. Beim Walzstahl können sie als abstehende Schuppen, lokale, linienförmige Pickel-Reihen oder unregelmässig-flächenhafte Fehler auftreten.

## Entstehung

Walzfehler wie Überschiebungen, Schalenstreifen und Überfaltungen erscheinen an der Oberfläche von Stahlprofilen und sind mit dem blossen Auge kaum wahrzunehmen. Während des Verzinkungsvorganges dringt jedoch flüssiges Zink unter Überlappungen. Durch die einsetzende Bildung von Eisen-Zink-Legierungsschichten werden die Ränder solcher Überlappungen angehoben und als Pickel, «Zungen», Schuppen oder Schalen sichtbar.

## Vermeidung/Behebung

### Bestellung Material:

- Gemäss DIN EN 10025 zum Feuerverzinken geeignet
- Frei von Walzungänzen gemäss EN 10163/1
- Wenn bei Serienaufträgen die Eignung des Stahl zum Feuerverzinken nicht eindeutig ist, empfiehlt sich die Durchführung einer Probeverzinkung unter praxisgerechten Bedingungen.

### Behebung:

- Bei hoher Zinkschichtdicke (ab ca. 150 µm): Abstehende (zungenförmige) Schuppen können zur Vermeidung von Verletzungsgefahr sorgfältig plan geschliffen werden. Die freiliegende Schuppe ist kathodisch durch das umliegende Zink geschützt.
- Bei starker Bildung der Schalen und Schuppen oder zu geringer Schichtdicke für das Überschleifen im verzinkten Zustand: Entzinken, Schleifen und Neuverzinken.

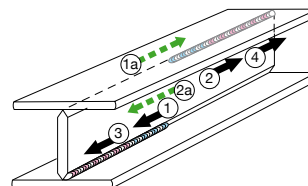
## Vermeiden von Verzug beim Feuerverzinken

Das Vermeiden von Eigenspannungen durch Schweißen und die richtige Kombination der Profile reduziert die Verzugsgefahr beim Verzinken.

### 1. Schweißplan und Schweißfolge

- Schweißplan mit Schweißfolge erstellen, damit die Teile lange frei schrumpfen können.
- Wenig Wärme einbringen durch kurze Nähte, hohe Schweissgeschwindigkeit und schmale Nahtquerschnitte.
- Da beim Überstrom-Schweißen eine Überhitzung des Gefüges und grössere Schrumpfkkräfte auftreten können, ist dies möglichst zu vermeiden.

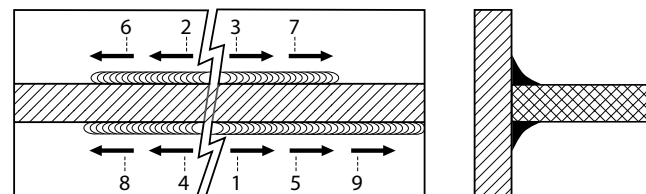
### Vermeiden des Verzuges durch Schweißfolge Geeignete Kombination der Profile



Pilgerschritt – Schweißfolge



Symmetrisches, beidseitiges, wechselseitiges Schweißen: Geschweisster I-Träger aus Flansch 15 mm und Steg 5 mm. Blech ab Coil. Bauteil blieb in Form und die mechanischen Eigenschaften einwandfrei.



Schweißfolge: Symmetrische Wärme-Einbringung

## 2. Kombination von Profilen

Dickenunterschiede von miteinander verschweissten Bauteilen sollten nicht mehr als das 2-fache betragen. Lassen sich grössere Unterschiede nicht vermeiden, wenden Sie sich an die Verzinkerei. Auch sehr dicke oder lange und schweissintensive Konstruktionen sind anfällig auf Verzug und sollten vorgängig abgeklärt werden.

Um einen möglichst geringen Verzug beim Verzinkungsprozess zu erreichen,

- Sollte die Differenz der Oberflächen pro Tonne Material der verschiedenen Profilstärken nicht mehr als ungefähr 30 – 40% betragen.
- Müssen daher Profile mit etwa gleicher Dicke kombiniert werden.

### a) Beispiel für die Berechnung der Differenz der Oberflächen pro Tonne Material bei verschiedenen Profilstärken

Ein Rahmen aus einem Vierkantrrohr 50/50/3 mm hat eine abkühlwirksame Oberfläche von ca. 50 m<sup>2</sup>/t (Aussenfläche). Durch das Einschweissen von Gittern mit verschiedenen Drahtstärken ergeben sich unterschiedliche Oberflächendifferenzen zwischen den Bauteilen (siehe Tabelle). Je nach Drahtdurchmesser des Gitters ist mehr oder weniger Verzugsgefahr vorhanden.

Abkühlwirksame Aussenoberfläche Rahmen (50/50/3 mm) pro Tonne: ca. 50 m <sup>2</sup> /t		
Verschweisstes Drahtgitter	Oberfläche Drahtgitter pro Tonne	Differenz der Oberflächen pro Tonne Material und die daraus resultierende Verzugsgefahr
Ø 4 mm	ca. 120 m <sup>2</sup> /t	+ 140% mehr Oberfläche gegenüber Aussenrahmen bewirkt schnellere Abkühlung: Mittlere Verzugsgefahr.
Ø 5 mm	ca. 100 m <sup>2</sup> /t	+ 100% mehr Oberfläche, Abkühlung Rahmen und Drahtgitter ausgeglichener: Kleinere Verzugsgefahr.
Ø 6 mm	ca. 80 m <sup>2</sup> /t	Wenig Unterschied in der abkühlenden Aussenfläche: Wesentlich geringere Verzugsgefahr.

Beispiel: Rahmen, Rohr 50/50/3 mm mit Drahtgitter Ø 4 mm.

Mit Draht Ø 6 mm wäre wesentlich weniger Verzugsgefahr!



## b) Beispiele für die Kombination von Profilen gleicher Dicke



Dicke der Gehwegplatte ist dem Tragrohr angepasst worden.



Kein Verzug beim Verschweissen von Profilen aus etwa gleicher Materialstärke. Winkel 100/65/7 mm und Tränenblech 5/7 mm

## 3. Verzugsfreie Konstruktion von Geländer - Füllungen

Grundvoraussetzung bei eingeschweissten Gittern:

- Geringe Eigenspannungen: Gitter unterlegen beim Einschweissen (darf nicht durchhängen)
- Gitter mit Spiel verschweisst
- Wenn möglich nur jeden zweiten Stab anschweissen
- Nicht zu grosse Gitterflächen (ca. 1.5 – 2 m<sup>2</sup>, bzw. 1.5 m lange Füllungen)
- Möglichst gleiche Materialdicken verwenden. Der Durchmesser der Gitterstäbe soll wenn möglich das Doppelte der Rohr-Blechdicke betragen.



Beispiel Geländer mit eingeschweisster Füllung: Feldgrösse nicht zu gross.



Ausdehnungsmöglichkeiten vorsehen:

- Nur jeden zweiten Gitterstab übers Kreuz anschweissen.
- Abstand Gitterstab zu Rahmen ca. 2 mm.

## Verzinken von Laserschnittflächen

Beim Verzinken von Laserschnittflächen treten oft Unregelmässigkeiten auf:

- Unterschiedliche Zink-Schichtstärken im Vergleich zu normalen Bauteilflächen
- Zum Teil Haftprobleme und Abblättern der Zinkschicht

### Ursache der Haftungsprobleme

#### a) Oxidschicht

Auf Laserschnittflächen wurde eine erhöhte Schicht aus Eisenoxiden detektiert. Diese liess sich auch bei ungenügend verzinkten Teilen unterhalb der abgeblätternen Zinkschicht feststellen und wird somit durch den normalen Beizprozess in der Verzinkerei nicht entfernt.

#### b) Martensitisches Randgefüge

Durch die Wärmeeinwirkung des Lasers entsteht an der Schneidfläche neben der Oxidschicht ein martensitisch umgewandeltes Randgefüge bis in eine Tiefe von ca. 0.3 mm.

Diese martensitische Gefügestruktur im Randbereich bewirkt beim Verzinken eine erhöhte Diffusion des Zinks in den Stahl, was zu einer Versprödung und Schwächung der Schlag- und Haftfestigkeit der Zinkschicht führt. Mit der Verkürzung der Verweildauer im Zinkbad kann dieser Diffusionsprozess reduziert werden, so dass die Haftung der Zinkschichten oft wieder in der Norm DIN EN ISO 1461 definierten Anforderungen genügen kann.

Eine kurze Verweildauer im Zinkbad wird erreicht durch genügend grosse Zinkeinlauf und -auslaufflöcher (siehe Seite 58 ff. «Zinkeinlauf- und Luftaustrittsbohrungen»).

Eine Einschränkung ist die Materialdicke. Bei Laserschnittkanten, die dicker als 10 mm sind, nimmt die Haftung progressiv ab.

### Massnahmen zur Reduzierung von Haftungsproblemen an Laserschnittflächen

Die Oxidschicht und das martensitische Randgefüge müssen entfernt werden:

- Schnittflächen und Kanten nachträglich mechanisch überarbeiten (z.B. überschleifen mit Winkelschleifer) oder zumindest SA 2 ½ Sandstrahlen.
- IPP-Verfahren von Galvaswiss (intensive Beizrhythmen zum Abtrag der obersten Stahlschicht, Termin 1 – 2 Wochen)
- Schneiden unter Stickstoff anstelle von Sauerstoff.



Haftprobleme auf der Laserschnittfläche und auf den scharfen Kanten.



Strahlen: Massnahme zur Reduzierung von Haftungsproblemen durch Entfernen scharfer Kanten und gefügeveränderter Oberflächen.

## Kaltumformung

Eine Kaltumformung führt zu Aufhärtung und Versprödung des metallischen Gefüges. Die Schlagzähigkeit wird dadurch stark reduziert. Durch die Wärmeeinwirkung beim Feuerverzinken kann das Verzinkungsgut zusätzlich verspröden.

Ausschnitt aus DIN EN 10025-2, empfohlene Materialien und Biegeradien beim Kaltbiegen von Blech, Band, Breitflachstahl und Flachstahl (Breite <150 mm):

### Empfohlene Mindestwerte für die inneren Biegeradien beim Abkanten von Flacherzeugnissen:

Bezeichnung		Blechdicke in mm	> 1	> 1,5	> 2,5	> 3	> 4	> 5	> 6	> 7	> 8	> 10	> 12	> 14	> 16	> 18	> 20	> 25
nach EN 10027-1 und CR 10260	nach EN 10027-2		≤ 1,5	≤ 2,5	≤ 3	≤ 4	≤ 5	≤ 6	≤ 7	≤ 8	≤ 10	≤ 12	≤ 14	≤ 16	≤ 18	≤ 20	≤ 25	≤ 30
		Richtung der Biegekante <sup>a)</sup>	Empfohlener kleinster innerer Biegeradius in mm <sup>b)</sup>															
S235JRC	1.0122	t	1,6	2,5	3	5	6	8	10	12	16	20	25	28	36	40	50	60
S235J0C	1.0115	l	1,6	2,5	3	6	8	10	12	16	20	25	28	32	40	45	55	70
S235J2C	1.0119																	
S275JRC	1.0128																	
S275J0C	1.0140	l	2	3	4	6	10	12	16	20	25	28	32	40	45	50	60	75
S275J2C	1.0142																	
S355J0C	1.0554	t	2,5	4	5	6	8	10	12	16	20	25	32	36	45	50	65	80
S355J2C	1.0579	l	2,5	4	5	8	10	12	16	20	25	32	36	40	50	63	75	90
S355K2C	1.0594																	

<sup>a)</sup> t: Quer zur Walzrichtung      l: Parallel zur Walzrichtung

<sup>b)</sup> Die Werte gelten für den Biegewinkel ≤ 90°

Zur Reduktion dieser Versprödungsgefahr empfehlen wir:

- Die örtliche Kaltumformung zu minimieren durch Biegeradien von mindestens 1 – 3x Flacheisendicke, je nach Stahlqualität (siehe Tabelle unten nach DIN EN 10025).
- Die Verwendung geeigneter «kerbfreier» Werkzeuge für die Kaltumformung.
- Die Auswahl einer geeigneten Stahlsorte, welche sich zur Kaltumformung eignet (Bezeichnung «C» nach DIN EN 10027-1, z.B. S235JRC).
- Die Verwendung von warmgewalzten Stählen.
- Das Glühen kaltgeformter Bereiche.





Zu enger Biegeradius: Hier entspricht der Innenradius fast einer Kante. Dies führt zu hohen mechanischen Belastungen im Biegebereich. Der Feuerverzinkungsprozess mit der Vorbehandlung bedeutet weitere Belastung, die für praktisch jede Stahlqualität bei richtiger Prozessführung bedenkenlos sind. Wenn der Stahl jedoch eine hohe Vorbelastung aufweist, wird die Versprödung durch Eindringen von Beize und Zink in die geöffneten Korngrenzen weiter begünstigt. Wir empfehlen möglichst grosse Biegeradien (1 – 3 x Flacheisendicke, je nach Stahlqualität) und die Verwendung «kerbfreier» Werkzeuge.

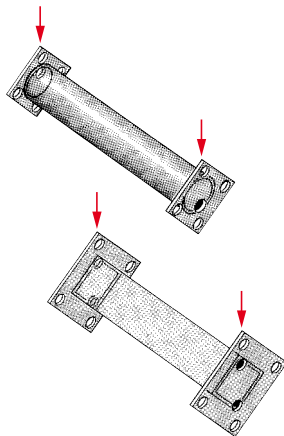
## Zinkeinlauf- und Luftaustrittsbohrungen

Die beim Feuerverzinken durchzuführenden Arbeitsgänge sind Tauchungen in Flüssigkeiten (Entfetten, Beizen, Spülen, Fluxen, Verzinken). Aus diesem Grund muss dafür gesorgt werden, dass das jeweilige Medium in alle Ecken, Winkel und Hohlräume einer Konstruktion eindringen und auch wieder auslaufen – sowie die verdrängte Luft austreten kann.

Richtig angeordnete und ausreichend dimensionierte Zinkeinlauf- und Entlüftungsöffnungen sind ein wesentlicher Beitrag zu einer guten Verzinkungsqualität und Optik.

Die erforderlichen Öffnungen sind stets so anzubringen, dass sie der Aufhängung der Teile in der Verzinkerei (schräge Aufhängung) Rechnung tragen. Die Öffnungen sind so weit wie möglich in der Ecke eines Bauteils anzubringen.

Neben den Löchern für den Ein-/Auslauf müssen bei vielen Konstruktionen an den richtigen Stellen Entlüftungslöcher angebracht werden.



Aufhängemöglichkeiten anbringen

Ästhetisch anspruchsvolle Konstruktionen: Lochgrößen bei Zinkeinlauflöchern ab mindestens 8 mm

Grosse Löcher ergeben bessere Qualität und Optik



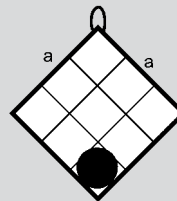
Rohrstützen mit zu kleinem Zinkausflussloch (links) müssen aufgebohrt werden (Mitte, rechts Plasmaschneider), um durch den schnellen Ein- und Auslauf des Zinks die Qualität der Feuerverzinkung zu gewährleisten.

### 1) Faustregeln zur Ermittlung der Lochgrößen zum Ein-/Auslaufen der Medien (unten)

#### Quadratrohr

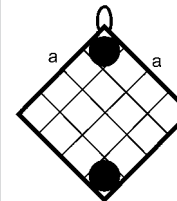
##### Mit 1 Loch

Lochdurchmesser =  $a/3$   
Lochgrößen bei Zinkeinlauflöchern mindestens 10 mm



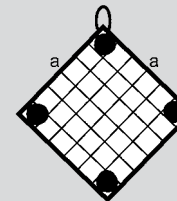
##### Mit 2 Löchern

Lochdurchmesser =  $a/4$



##### Mit 4 Löchern

Lochdurchmesser =  $a/6$

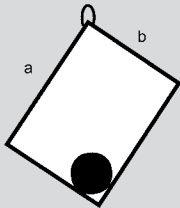


Beispiel: 50x50 mm: 1 Loch mit 16 mm Ø, 2 Löcher mit 12 mm Ø, 4 Löcher mit 8 mm Ø

## Rechteckrohr

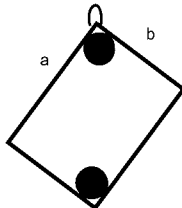
### Mit 1 Loch

Lochdurchmesser =  $(a+b)/6$   
Lochgrößen bei Zinkeinlauf-  
löchern mindestens 10 mm



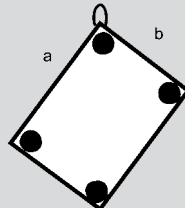
### Mit 2 Löchern

Lochdurchmesser =  $(a+b)/8$



### Mit 4 Löchern

Lochdurchmesser =  $(a+b)/12$

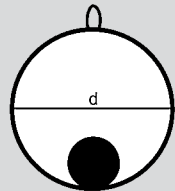


Beispiel: 60x80 mm: 1 Loch mit 23 mm Ø, 2 Löcher mit 17 mm Ø, 4 Löcher mit 11 mm Ø

## Rohr

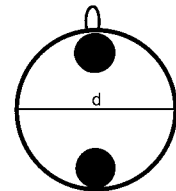
### Mit 1 Loch

Lochdurchmesser =  $d/3$   
Lochgrößen bei Zinkeinlauf-  
löchern mindestens 10 mm



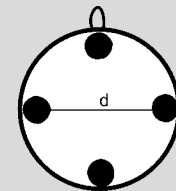
### Mit 2 Löchern

Lochdurchmesser =  $d/4$



### Mit 4 Löchern

Lochdurchmesser =  $d/6$



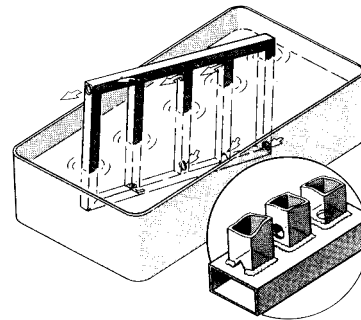
Beispiel: 80 mm: 1 Loch mit 27 mm Ø, 2 Löcher mit 20 mm Ø, 4 Löcher mit 13 mm Ø

## 2) Lochgröße Luftaustritt (oben)

Die Lochgröße beim Luftaustritt muss mindestens 6 mm sein.

## 3) Varianten des Bohrens bei Staketen

Ausklüftung (maschinell), Löcher bohren (manuell), inwendig gebohrt (ästhetische Teile).



Zulauf- und Entlüftungslöcher vorsehen

#### 4) Beispiele kleiner und mittlerer Stahlbau

##### Gute Beispiele

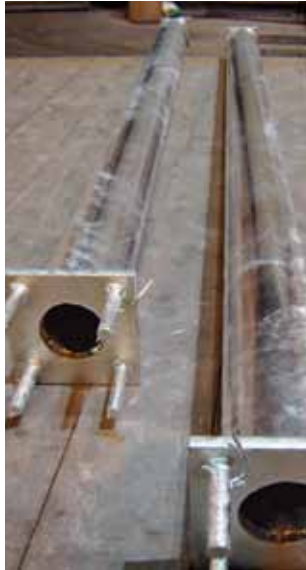


Löcher genügend gross, die Position trägt der Aufhängung Rechnung.



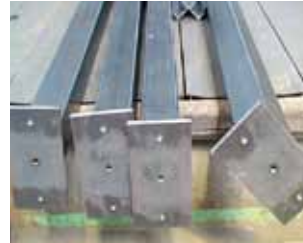
Loch ermöglicht guten Ein- und Auslauf des Zink.

##### Resultate



Schöne und saubere Verzinkung: Bei normaler Zinkannahme meist glatte Flächen.

##### Schlechte Beispiele



Ungenügende Lochfläche



Ungenügende Lochfläche

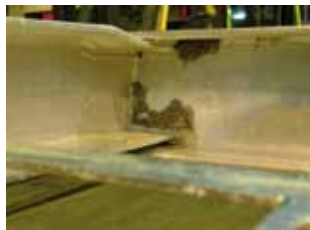
##### Resultate



Dicker, unschöner Zinkaufbau durch lange Tauchzeit. Diese entsteht durch langsames Ein- und Ausfließen des Zinkes aus dem Rohr.

## Ausklinkungen

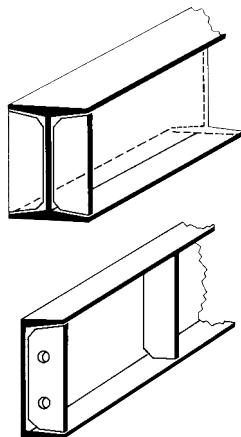
Tote Ecken und Winkel sind zu vermeiden, damit im Tauchprozess keine Ascherückstände und unverzinkte Stellen (Luftsäcke) entstehen.



Bei zu kleinen Löchern oder Ausklinkungen bleiben Ascherückstände hängen.

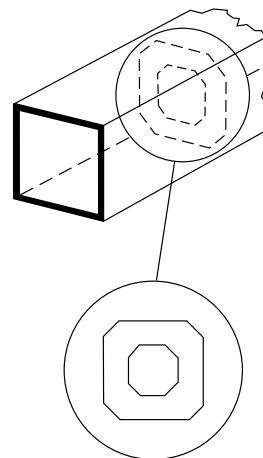
### Stegbleche oder andere Versteifungen

Sollten Stegbleche oder andere Versteifungen zur Verstärkung von Profilen verwendet werden, muss sicher gestellt sein, dass die Ecken ausgeklinkt sind und eine Öffnung von mindestens 10 mm aufweisen. Damit wird der Durchfluss des Zinks gewährleistet und das Hängebleiben von Aschresten verhindert.

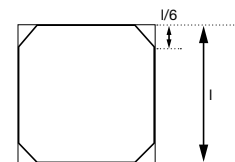


## Ausklinkungen zur Vermeidung von Ascherückständen und Fehlstellen

### Hohlkörper



Bei inneren Verstärkungen von Rohren sollten die 4 Ecken um mindestens  $\frac{1}{6}$  der Seite ausgeklinkt werden (mindestens aber 10 mm):



Falls Ausklinkungen dieser Grösse nicht möglich sind, können kleinere Ausklinkungen (mind. 10 mm) angebracht werden, welche aber durch eine zusätzliche grosszügige Öffnung im Blech kompensiert werden (siehe Bild).

### Beispiele

Alle Ecken ausklinken zur Vermeidung von Aschenrückständen und unverzinkten, schwarzen Stellen (keine Luftsäcke).



Zink kann in diesem Beispiel auch im Innern der Rohrkonstruktion ungehindert fließen.



Aschen müssen entweichen können. Zusätzliche grosse Öffnungen anbringen!



Der flüssige Zink kann aufgrund der genügend grossen Ausklinkungen gut ein- und auslaufen, die Asche kann entweichen.

## Aufdoppelungen

Zink kann im Gegensatz zu den Vorbehandlungsflüssigkeiten nicht in sehr dünne Ritzen und Zwischenräume eindringen. Dadurch entstehen in den Aufdoppelungen und der näheren Umgebung unverzinkte Fehlstellen, die später unter dem Einfluss von Feuchtigkeit zu rosten beginnen.



In den Ritzen verbleibende Vorbehandlungsflüssigkeiten kochen beim Verzinkungsprozess (440 °C) aus und führen in der näheren Umgebung zu Fehlstellen.

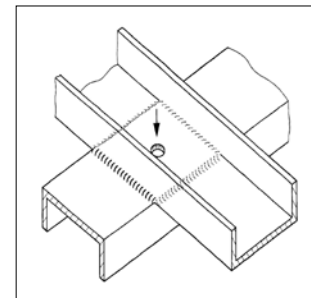


Im Bereich der geklemmten Stellen entstehen unverzinkte Flächen und nach einiger Zeit bildet sich durch Feuchtigkeit Rostwasser, welches aus den Ritzen und Spalten austritt. Galvaswiss empfiehlt Duplex (Feuerverzinken + Lackieren) für solche Konstruktionen.

**Ritzen und enge Zwischenräume (< 2 mm) sind zu vermeiden**

### Vermeidung von Fehlstellen

- Konstruktive Vermeidung von Ritzen und engen Zwischenräumen (< 2 mm)
- Dicht-Schweißen von Ritzen und Zwischenräumen
- Bei nachträglicher Lackierung Ritzen und Zwischenräume mit Pinsel und Korrosionsschutzfarbe (z.B. Epoxid-Grundierung) vorbehandeln.



Bei geschlossenen Aufdoppelungen wird zur Vermeidung von Verzug und Berstgefahr zwingend ein Entlüftungsloch vorgeschrieben. Es soll auch sichergestellt werden, dass die Vorbehandlungsflüssigkeiten nicht eingeschlossen werden können.

### Behebung von Schadstellen

- Bei Rostwasser-Austritt können nach vorgängiger Reinigung der Schadstelle die Spalten mit geeignetem Silikon-Kitt verschlossen werden.

## Lochbleche

Beim Feuerverzinken ist darauf zu achten, dass kleine Löcher von dicken Blechen zulaufen können. Bei Lochblechen ist daher zwingend darauf zu achten, dass die Lochgrößen mit der Blechdicke abgestimmt werden.

Die grün gekennzeichneten Lochgrößen (Tabelle 1) lassen eine Feuerverzinkung zu, ohne dass nach dem Verzinken die Löcher geschlossen sind.

### Lochblechverzinken

		Lochdurchmesser							
		6	7	8	9	10	11	12	13
Blechdicke	1								
	1,5								
	2								
	2,5								
	3								
	3,5								
4									

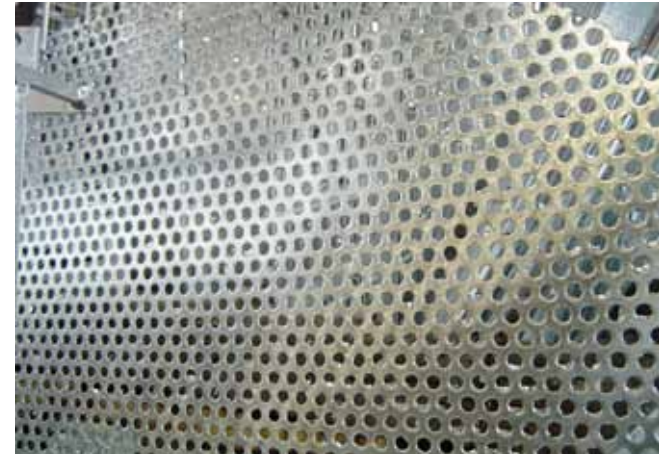
Kombination möglich  
 Kombination kritisch  
 Kombination nicht möglich

### Abstimmung des Lochdurchmessers mit der Blechdicke

### Längere Lebensdauer von feuerverzinkten Lochblechen

Durch die richtige Wahl des Lochdurchmessers in Kombination mit der Materialschichtstärke, können Lochbleche ohne ästhetische Einbußen feuerverzinkt werden. Weitere Konstruktionshilfen siehe Seite 46 ff. «Vermeiden von Verzug beim Feuerverzinken».

Feuerverzinkte Lochbleche bieten auch im Kantenbereich der Löcher einen hervorragenden Korrosionsschutz. Bei lackierten Lochblechen ist durch die Kantenflucht der Farbe mit Einbußen im Korrosionsschutz im Bereich Lochkanten zu rechnen.





## Fett, Öl, Farbe und Schweiss-Schlacke

Beim Feuerverzinken sind metallisch reine Oberflächen eine Voraussetzung. Auf den Konstruktionen haftende Farb-, Fett- und Ölrückstände, Schlackenreste sowie zurückbleibender Klebstoff von Klebebändern führen zu örtlich begrenzten Fehlstellen im Zinküberzug. Selbst Markierungen mit einer Fettkreide ergeben Beeinträchtigungen. Weil hartnäckige derartige Rückstände durch das vorgängig dem Verzinkungsvorgang durchgeführte Entfetten und Beizen nicht beseitigt werden, bleibt die Reaktion zwischen Eisen und Zink aus. Es ergeben sich Fehlstellen, welche zu Korrosion führen können.

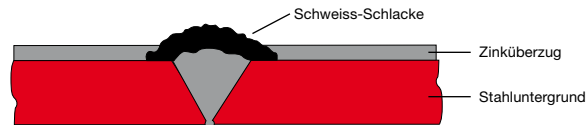
### Deshalb gilt

Alles Verzinkungsgut ist frei von den erwähnten Rückständen anzuliefern bzw. durch den Hersteller mechanisch zu entfernen. Altverzinkte Konstruktionen sowie ganz oder teilweise mit Farbe behaftete Teile können in der Verzinkerei fachgerecht und umweltschonend entzinkt/entfernt werden.

Fehlstellen durch:



Fett      Silikonfett      Öl



Fehlstelle infolge nicht entfernter Schweiss-Schlacke.

### Zur Markierung Specksteinkreide verwenden

#### Tipp

Verlangen Sie für sachgerechtes Markieren unsere Gratis-Specksteinkreide. Beschriftungen mit Specksteinkreide lösen sich im Beizbad problemlos, nicht aber solche mit Fettkreide. Ausbesserung siehe Seite 89 f. «Fehlstellen und ihre Ausbesserung».

#### Anforderungen (Auszug Verzinkungsnorm)

Zum Feuerverzinken ist eine metallisch reine Oberfläche erforderlich. Die durch Beizen nicht zu beseitigenden Verunreinigungen wie Anstriche, Fette, Öle, Teere, Sandkörner sowie Rückstände von Schweiss-Schlacken und dergleichen sind vom Hersteller oder, in seinem Auftrag, von der Verzinkerei zu entfernen. Stahlguss- oder Gusseisenteile müssen frei von Lunkern und porösen Stellen sein. Andernfalls muss die Oberfläche durch Strahlen, Beizen oder andere geeignete Verfahren für das Verzinken vorbereitet werden. Bei allen diesen Teilen, insbesondere auch bei legierten Stählen, ist eine vorgängige Absprache mit der Verzinkerei und gegebenenfalls eine Probeverzinkung notwendig.



Fehlstelle durch Fettkreide/Ölfarbe.

## Schweiss-Spray

Rückstände gewisser Schweiss-Sprays verhindern den Reinigungsprozess in der Vorbehandlungsanlage. Dadurch entstehen typische schwarze, unverzinkte Stellen (siehe Bilder). Durch Schweiss-Spray verursachte Fehlstellen bedingen, dass das verzinkte Werkstück komplett entzinkt und neu verzinkt werden muss.

Auch die Bezeichnung «Siliconfrei» bedeutet nicht, dass das Produkt für die Feuerverzinkung geeignet ist. Lassen Sie sich vom Lieferanten die Tauglichkeit für die Feuerverzinkung bestätigen.

Unabhängig vom Fabrikat können aber auch in grossen Mengen aufgetragene Schweiss-Sprays zu Fehlstellen führen. Die Oberflächentemperatur in unmittelbarer Nähe der Schweissnaht ist dann zu gering, um den Spray vollständig zu verbrennen. Die öligen Substanzen werden eingebrannt und können mit normalen Beizprozessen nicht gelöst werden.

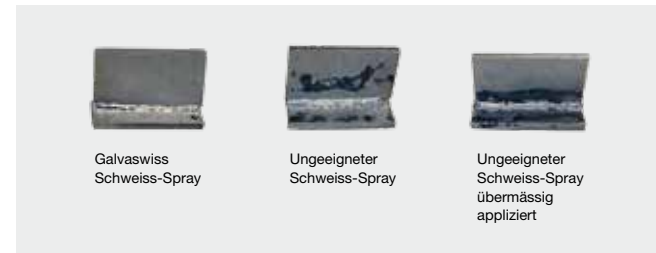


### Lösung:

**Wir liefern Ihnen gerne unseren eigenen Schweiss-Spray oder beraten Sie in der Wahl des geeigneten Schweiss-Sprays, der sowohl Ihre wie auch unsere Bedürfnisse deckt.**

**Schweiss-Spray in geringen Mengen auftragen, damit dieser beim Schweissen restlos verbrennt.**

**Nicht jeder Schweiss-Spray ist geeignet  
In geringen Mengen auftragen**



Fehlstellen infolge zuviel und nicht feuerverzinkungsgerechtem Schweiss-Spray.



Galvaswiss Schweiss-Spray ist bestens geeignet für die Feuerverzinkung.

## Flüssigmetallinduzierte Spannungsrisskorrosion (Lotbrüchigkeit)

### Neue Zinkbadlegierungen

Zur Reduktion von hohen Zinkschichtdicken, insbesondere auf silizium- und/oder phosphorhaltigen Stählen, wurden in den letzten 10 Jahren von verschiedenen Verzinkeuren in Europa spezielle Legierungen eingesetzt. Diese enthielten bis über 2.5% Legierungselemente. Neu kam bei diesen hochlegierten Zinkschmelzen auch Zinn zum Einsatz.

**Wegen der Unsicherheit der langfristigen Auswirkungen dieser Legierungen hat Galvaswiss zu keinem Zeitpunkt zinnhaltige Schmelzen eingesetzt.**



Das Verzinken von hochfesten Stahlarten erfordert eine richtige Zinklegierung.

Foto: O. Vosschage

### Spannungsrisskorrosion

Es wurde nachgewiesen, dass die Kombination dieser Legierungselemente mit gewissen Stählen und den Eigenspannungen der Konstruktion zu Rissbildung führen kann. Diese Schädigung bezeichnet man als flüssigmetallinduzierte Spannungsrisskorrosion. Die EMPA (Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt) hat in Zusammenarbeit mit der Qualitätssicherung von Galvaswiss bereits vor Jahren belegt, dass Zinn einen wesentlichen Anteil daran hat.



Hochfeste Zugstäbe und Zuganker können ohne statische Beeinträchtigung dauerhaft vor Korrosion geschützt werden.

Foto: Besista Betschart GmbH

Das Feuerverzinken von Stahlkonstruktionen hat sich seit Jahrzehnten als zuverlässiger und wirtschaftlicher Korrosionsschutz mit hoher mechanischer Belastbarkeit ausgezeichnet

### DAST-Richtlinie 022

Dies hat das Deutsche Institut für Bautechnik DIBt dazu veranlasst, den Deutschen Ausschuss für Stahlbau (DAST) mit der Ausarbeitung einer Richtlinie zu beauftragen. Die daraus hervorgegangene DAST-Richtlinie 022 wurde Anfangs 2010 in die Bauregelliste A, Teil 1, 4.9.15 aufgenommen und ist somit für Stahlbauten in Deutschland verbindlich. Sie macht Vorgaben über die Konstruktion, Fertigung, Verzinkung und Überprüfung von tragenden Stahlbauteilen und limitiert den Gehalt an Legierungselementen im Zinkbad. Weitere Details zu dieser Richtlinie siehe Seite 304 ff. «DAST-Richtlinie 022».

### Verzinken bei Galvaswiss

Stahlkonstruktionen, die von Galvaswiss verzinkt wurden, sind bedenkenlos. Es wurden zu keinem Zeitpunkt zinnhaltige Schmelzen eingesetzt:

- Galvaswiss verwendet ausschließlich Rohzink nach EN 1179 (special high grade SHG).

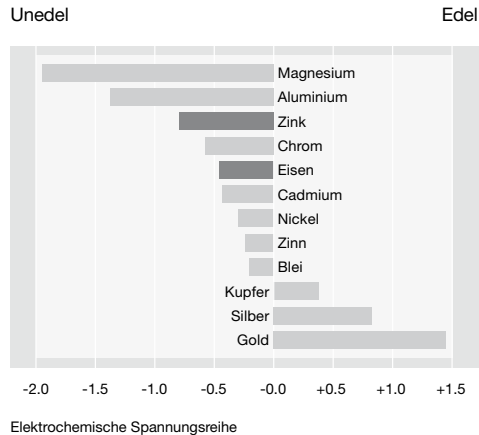
- Galvaswiss setzt keine Legierungsbestandteile zur Reduktion der Zinkschichtdicke ein (z.B. Zink – Nickel – Zinn Legierungen).
- Die normativen Anforderungen an die metallurgische Qualität der Zinkbäder werden durch regelmäßige externe Analysen kontrolliert.
- Alle Werke von Galvaswiss haben den zertifizierten Übereinstimmungsnachweis (Ü-Zeichen, Fremdüberwachung) nach der DAST-Richtlinie 022.



- Galvaswiss erfüllt in einigen Werken auch die Anforderungen an «trinkwasserbeaufschlagte Teile» (EN/ISO 10240).

## Kontaktkorrosion

Kommen zwei unterschiedliche Metalle in direkten Kontakt und ist ein Elektrolyt (z.B. Feuchtigkeit) vorhanden, kann Kontaktkorrosion auftreten. Dabei wird das unedlere Metall entsprechend der elektrochemischen Spannungsreihe vorzugsweise korrodiert und gleichzeitig die Korrosion des anderen, edleren Metalls verhindert.



In dieser Tabelle stehen edle Metalle (z.B. Gold, Silber) mit ihrem positiven Potential auf der rechten Seite und unedle Metalle (z.B. Magnesium, Aluminium und Zink) mit ihrem negativen Potential auf der linken Seite.

Zink kann durch edlere Metalle korrodiert werden

Kleine verzinkte Teile in Kontakt mit grossen Metallflächen sind gefährdet

Je weiter die Metalle in der Spannungsreihe auseinander liegen, desto eher kommt es in Anwesenheit eines Elektrolyten (z.B. Wasser) zu Korrosion. Der Werkstoff mit dem unter den vorherrschenden Bedingungen negativeren Potential wird in der Nähe der Kontaktstelle vermehrt korrodiert. Dabei haben a) die Grösse der Kontaktflächen und die Oberflächen der Bauteile, b) die Zusammensetzung des Elektrolyten und c) die Oxidationsprodukte auf den Oberflächen der Metalle einen entscheidenden Einfluss auf die Spannungspotentiale und somit auf das Ausmass der Korrosion.

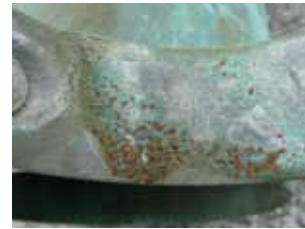
### a) Oberflächenverhältnis

Solange das Bauteil aus feuerverzinktem Stahl flächenmässig eindeutig überwiegt, ist die Paarung von feuerverzinktem Stahl mit anderen Werkstoffen in der Regel wenig problematisch. Falls der feuerverzinkte Stahl jedoch flächenmässig kleiner ist wie z.B. bei feuerverzinkten Rohrschellen an Rohrleitungen aus Kupfer, ist Vorsicht angebracht.

Eine häufige Anwendung sind Schrauben und Muttern aus nichtrostendem Stahl im Kontakt mit einer feuerverzinkten Oberfläche. Aufgrund des kleinen Potentialunterschiedes und der kleinen Oberfläche der Schrauben ist hier Kontaktkorrosion kein Problem, obwohl eine Isolation mithilfe von Kunststoff-Unterlegscheiben immer eine sichere Lösung ist.

Kontaktkorrosion von feuerverzinktem Stahl		
Paarungswerkstoff	Oberflächenverhältnis Zink/Paarungswerkstoff gross (>> 1)	Oberflächenverhältnis Zink/Paarungswerkstoff klein (<< 1)
Magnesiumlegierung	G	M
Zink	G	G
Aluminiumlegierung	G	M
Cadmiumüberzug	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 Feuchte), S = starke Korrosion



Innere Fläche einer feuerverzinkten Rohrschelle, welche 4 Jahre an einem Kupferblechrohr montiert war. Stellenweise wurde die verzinkte Oberfläche vollständig korrodiert und es zeigen sich erste Rostspuren.



Konsole aus Inox an feuerverzinkten Balkonrahmen: Die grössere Fläche des Zinks gegenüber dem nichtrostenden Stahl verhindert eine Kontaktkorrosion.

### b) Elektrolyt

In trockenen Innenräumen spielt die Kontaktkorrosion kaum eine Rolle. Bei Aussenbewitterung ist diese Art der Korrosion von der Dauer der Feuchtigkeitseinwirkung abhängig. Die ungünstigsten Bedingungen herrschen dort, wo eine intensive Befeuchtung und Elektrolyte mit einer hohen Leitfähigkeit vorliegen, z.B. in salzhaltiger Meeresluft, im Meerwasser oder an stark gesalzene Strassen.

### c) Oxidierte Oberflächen

Sind die Metallflächen stark oxidiert, so ändern sich ihre Potentiale und eine Einschätzung wird erschwert. Lässt sich eine ungünstige Metallpaarung nicht vermeiden, so muss versucht werden, die verschiedenen Metalle durch Isolation (z.B. Unterlegscheiben aus Kunststoff oder eine Beschichtung) elektrochemisch zu trennen.

## Verzinken von Armierungsstahl

Korrosionsschäden an Hochbauten aus Stahlbeton wie z.B. Brücken, Galerien, Tunneleinfahrten kommen relativ oft vor und die Sanierung ist kostspielig. Am stärksten belastet sind Betonkörper im Stand- und Spritzwasserbereich von Strassen, welche Tausalzen ausgesetzt sind oder Bauteile direkt am Meer.

### Korrosionsschutz von feuerverzinktem Bewehrungsstahl

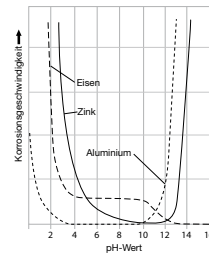
Durch Eindiffundieren bei feuchtem Beton sowie mit der Zeit durch kleine Risse dringen  $\text{CO}_2$ , Chloride, Schwefel oder Stickoxide in den Beton ein. Bei der Reaktion des Kohlendioxids mit Zementstein bildet sich Calciumcarbonat und der pH-Wert sinkt von über 12 auf 10 ab (sogenannte Carbonatisierung). Bereits bei einem pH-Wert unter 11 beginnt die Korrosion des ungeschützten Armierungsstahles. Für die verzinkte Armierung besteht erst bei einem pH-Wert unter 6 (saurer Bereich) eine Gefahr.

Die Feuerverzinkung verhindert vor allem die Korrosion bei der Carbonatisierung. Falls der pH-Wert aufgrund der aggressiven Umgebung weiter unter 6 fällt, muss jedoch die vorhandene Zinkschicht vollständig korrodiert sein, bis die Zersetzung des Bewehrungsstahles beginnt. Dieser Prozess kann aus unserer Praxiserfahrung in Feuerverzinkereien (Betonwannen im Säurebereich, dauernde Chlorid-Belastung und Erschütterungen) über 20 Jahren dauern.

Während des Betonierens (ca. pH 13) werden Zinküberzüge anfangs angegriffen, die Korrosion wird jedoch nach kurzer Zeit durch Bildung dichter



Ungenügende Überdeckung des Bewehrungsstahls bewirkt eine Abplatzung des Betons.



## Feuerverzinkung verhindert die Korrosion des Armierungsstahls durch Carbonatisierung

Schichten aus fest haftenden Calciumhydroxozinkaten verlangsamt (der verzinkte Stahl verklebt sich mit dem Beton). So werden anfangs 5 – 10  $\mu\text{m}$  Zink abgetragen, danach kommt die Korrosion zum Stillstand.

Eine fortschreitende Korrosion durch Chloride wird stark abgebremst, da die Chloridionen in Form von schwer löslichen, basischen Zinkchloriden abgebunden werden. Der Chloridgehalt im Porenwasser müsste um ein Vielfaches (bis Faktor 100) höher liegen als bei unverzinktem Stahl, um die gleichen Korrosionsschäden zu bewirken.

Eine allseitig genügende Überdeckung des Stahls durch Beton sowie eine einwandfreie Verarbeitung, verbunden mit einer geeigneten Betonbeschichtung, lässt sich unter Praxisbedingungen nicht immer realisieren. Eine korrosionsschutzgeschützte Bewehrung ermöglicht durch reduzierte Bewehrungsüberdeckung schlanke Betonplatten und gewährleistet auch bei komplizierter Bewehrungsführung die Dauerhaftigkeit des Betonkörpers. Dadurch kann die Objektnutzungsdauer einer Konstruktion mit geringen Kosten bei einer einfachen Anwendungstechnik verdoppelt bis verdreifacht werden.

Bei der Kaltumformung des Betonstahls vor dem Feuerverzinken ist auf möglichst grosse Biegeradien zu achten, um eine Versprödung zu vermeiden. Es ist eine geeignete Stahlsorte einzusetzen und je nach Dicke ein Biegeradius vom mind. 6- bis 10-fachen des Durchmessers anzuwenden. Auch ist den Vorschriften des jeweiligen Landes Rechnung zu tragen.

Eine feuerverzinkte Bewehrung (einzelne gebogene Bewehrungselemente oder ganze Armierungskorsette) verursacht Mehrkosten von ungefähr CHF 50.– bis 120.–/m<sup>3</sup> Beton. Dies ist im Vergleich zu jedem anderen Verfahren (Pulverbeschichten, Betonzusatz, Betonbeschichtung oder Stähle mit erhöhtem Kor-

rosionswiderstand) wettbewerbsfähig. Dieses System bringt die nachweisbare Sicherheit aus Objekten in Holland und den USA, dass auf die gesamte Objekt-nutzungsdauer keine Sanierungsarbeiten notwendig sind, was beispielsweise bei einer Betonbeschichtung nicht der Fall ist.

### Schlanke Bauteile

Beispiel der Anwendung von nichtrostendem Stahl. Auf ähnliche Weise können feuerverzinkte Bewehrungen eingesetzt werden.



**Witterungsschutz neben der technischen Berufsschule Zürich: komplizierte Bewehrungsführung\***  
Die weite Auskragung sowie die geschwungene Form gestalteten die Bewehrungsführung anspruchsvoll. Um die Dauerhaftigkeit des Sichtbetonkörpers trotz unvermeidlicher Toleranzen in der Lage der Bewehrung gewährleisten zu können, wurden die äusseren Bewehrungslagen in nichtrostendem Stahl ausgeführt.

\* F. Hunkeler und L. Bäurle, Nichtrostende Bewehrung, tec21, Nr. 19, 2010, S. 29 – 32

Bei schlanken Teilen kann die erforderliche Mindestüberdeckung des Bewehrungsstahls (je nach Umwelteinflüssen 20 – 40 mm) mit Beton oft nicht eingehalten werden. Zur Verhütung von Korrosionsschäden an der Bewehrung gibt es folgende Möglichkeiten mit den entsprechenden Mehrkosten:

Beispiel: Decke eines Gebäudes, Bewehrungsgehalt 80 kg/m<sup>3</sup>, Kosten pro m<sup>3</sup> Beton ohne zusätzlichen Korrosionsschutz: ca. 600 CHF/m<sup>3</sup>

Korrosionsschutz Bewehrungsstahl	Mehrkosten pro m <sup>3</sup> Beton	Erwartete Schutzdauer
Feuerverzinkung	+ ca. 50 CHF/m <sup>3</sup> Mischbewehrungen sind möglich	> 50 Jahre
Beschichtung mit Epoxid-Lack	+ ca. 50 CHF/m <sup>3</sup>	bis > 50 Jahre, kontroverse Beurteilungen
Nichtrostender Stahl	+ ca. 240 CHF/m <sup>3</sup> Mischbewehrungen sind möglich	> 50 Jahre

### Erhöhte Umweltbelastung

Bei Objekten mit erhöhter Umweltbelastung ist es auch bei den üblichen Überdeckungen des Bewehrungsstahls eine Frage der Zeit, bis aufgrund der Diffusion der Feuchte und durch Risse im Beton die Korrosion einsetzt und das Bauwerk kostspielig saniert werden muss.

Beispiel: Tunnelleinfahrten, Galerien, Brückensegmente, Parkhäuser, Bewehrungsgehalt 200 kg/m<sup>3</sup>, Belastung durch Feuchte, Tausalze und Abgase. Kosten pro m<sup>3</sup> Beton ohne zusätzlichen Korrosionsschutz: ca. 700 CHF/m<sup>3</sup>. In diesem Fall bestehen folgende Schutzmöglichkeiten:

Korrosionsschutz Bewehrungsstahl	Mehrkosten	Erwartete Schutzdauer	Bemerkung
Feuerverzinkung	+ ca. 100 CHF pro m <sup>3</sup> Beton	bis > 50 Jahre	Erfolgreiche Anwendungen im Brückenbau am Meer seit 60 Jahren z.B. in den USA und Holland. Die Schutzdauer ist u.a. abhängig von der Cl-Konzentration und der Zinkschichtstärke. Mischbewehrungen sind möglich.
Beschichtung mit Epoxid-Lack	+ ca. 100 CHF pro m <sup>3</sup> Beton	bis 35 Jahre	Durch Belastungen können Risse in der Lackierung auftreten.
Nichtrostender Stahl	+ min. 600 CHF pro m <sup>3</sup> Beton	> 50 Jahre	Sinnvoll bei besonders exponierten Bauteilen. Mischbewehrungen sind möglich.
Hydrophobierung (OS1)	Erstapplikation ca. 20 CHF/m <sup>2</sup> Erneuerung ca. 40 CHF/m <sup>2</sup>	10 – 15 Jahre	–

Weitere Details unter: [www.feuerzinken.com](http://www.feuerzinken.com), [www.galvanizedrebar.com](http://www.galvanizedrebar.com) (Englisch), [www.tfb.ch/de/Publicationen.html](http://www.tfb.ch/de/Publicationen.html)

Richtpreise Feuerverzinkung Armierungsstahl für Stäbe/Matten, gerade oder abgebogen, 2-dimensional (Mengen- und Geometrieabhängig):

Gewicht pro Stück CHF/kg	Richtpreis
> 20 kg	-.40
> 10 kg	-.60
> 2 kg	-.90
< 2 kg	1.20

## Verzinken von Guss

Gusseisenwerkstoffe sind Eisen-Kohlenstoff-Verbindungen mit einem Kohlenstoff-Anteil, der in der Regel über 2% liegt. Die Silizium- und Phosphorgehalte sind deutlich höher als bei herkömmlichen Stählen. Bei der Beurteilung der Eignung zum Feuerverzinken sollte daher auch die Zusammensetzung des Gusswerkstoffes, insbesondere hinsichtlich seines Silizium-Gehaltes, beachtet werden. Es gelten jedoch nicht die gleichen Grenzen wie bei den Stahlwerkstoffen, da das Silizium in Gusswerkstoffen teilweise in anderen chemischen Verbindungen vorliegt. Aus diesem Grunde führen höhere Gehalte, die bei Stählen bereits ein starkes Wachstum der Zinküberzüge auslösen würden, bei Gusswerkstoffen nicht in gleichem Masse zu hohen Zinkschichten.

### Gusssorten

**GJN** (früher GS) = Stahlguss: **Zur Feuerverzinkung geeignet** (mit herkömmlichen Stählen vergleichbar)

**GJL** (früher GGL) = Grauguss (Gusseisen mit Lamellengraphit) hat hohen Kohlenstoff- (2%) und Siliziumgehalt (1–3.5%): Dickere und graue oder graufleckige Zinkschicht.

**GJS** (früher GGG) = Kugelgraphit (Gusseisen mit Kugelgraphit) hat hohen Kohlenstoff- (2%) und Siliziumgehalt (2–2.5%): Dickere und graue oder graufleckige Zinkschicht.

### Temperguss

**GJMB** (früher GTS) = schwarzer Temperguss: Kohlenstoffgehalt 2.2% – 2.8%, Siliziumgehalt 0.9% – 1.4%: Dickere und graue oder graufleckige Zinkschicht.

**GJMW** (früher GWT) = weisser Temperguss: Kohlenstoffgehalt 2.8% – 3.4%, Siliziumgehalt 0.4% – 0.8%: zur Feuerverzinkung geeignet, meist eine normale Eisen Zink Reaktion.

**Gussteile erfordern eine spezielle Oberflächenvorbereitung**

**Kleine und einfach geformte Gussteile eignen sich meist gut zum Feuerverzinken**

### Oberflächenvorbereitung

Die Rückstände von Formsand, anhaftender Temperkohle und Graphitresten auf der Oberfläche von Gussteilen können durch die übliche Vorbereitung einer Feuerverzinkerei (Beizen mit verdünnter Salzsäure) nicht entfernt werden. Nach einer eventuell nötigen Sandstrahlung ist es erforderlich, die Oberfläche in Flusssäure-Ersatz-Gemischen zu reinigen. Für diese spezielle Art der Vorbereitung, welche in nur ganz wenigen Verzinkereien angeboten werden kann, ist Galvaswiss bestens eingerichtet. Danach kann das Material dem normalen Beizprozess zugeführt werden.

### Konstruktionen

Die konstruktive Gestaltung von Gussteilen kommt den Anforderungen des Feuerverzinkers prinzipiell entgegen. Kleine und einfach geformte Gussteile sind daher meistens problemlos zu verzinken. Bei grösseren Gussteilen ist darauf zu achten, dass bei den üblichen Verzinkungstemperaturen Spannungen auftreten können, die Risse verursachen. Besonders kritisch ist, wenn in einer Gusskonstruktion grosse Massenanhäufungen mit filigranen Teilbereichen kombiniert werden.



Feuerverzinkter Hydrant



## Fehlstellen und ihre Ausbesserung

	Entstehung	Ausbesserungsmöglichkeiten
<b>Asche</b> 	Asche enthält Reste von ätzendem Flussmittel, welches beim Verzinken nicht weggespült wurde. Bei Nässe frisst sich die Säure in den Zink!	a) Asche mit Bürste/Pinsel/Kratzer sauber entfernen oder b) Asche mit Strahl-Pistole abstrahlen Falls unter der Asche eine Fehlstelle erscheint, ist diese auszubessern (siehe Fehlstellen).
<b>Abplatzung</b> 	Bei Abplatzungen ist meist noch eine dünne Zink-Diffusionsschicht vorhanden. Der Untergrund ist oxidfrei (kein Rost) und der Zinkdraht haftet ohne Vorbereitung.	1) Abplatzung, lose Stellen mit Drahtbürste reinigen 2) Mit Brenner heizen, verbrannter Zink entfernen 3) Mit Zinkdraht (dick) ausbessern 4) Mit Feile oder Bürste nachbehandeln
<b>Schweißnaht</b>  vorher  nachher	Durch den erhöhten Siliciumgehalt im Schweißdraht entsteht eine dickere Zinkschicht.	Kann mit feinem Schleifpapier und der nötigen Vorsicht plangeschliffen werden.

**Kleinere Fehlstellen – z.B. durch Montagen – lassen sich beheben**

**Bei grösseren Beschädigungen Rücksprache mit dem Verzinker**

	Entstehung	Ausbesserungsmöglichkeiten
<b>Pickel und Schuppen aus Walzfehler</b> 	Mangelhafte Stahlqualität.	Rücksprache mit dem Verzinker. Weitere Details siehe Seite 38 ff. «Feuerverzinkungsfreundliche Stahlsorten und Oberflächen».
<b>Erhöhte Zinkaufnahme</b> 	Hervorgerufen durch ungeeignete Stahl-Sorte (siehe Seite 38 ff. «Feuerverzinkungsfreundliche Stahlsorten und Oberflächen»).	Rücksprache mit dem Verzinker. Spezielle Vorbehandlung kann das Phänomen teilweise korrigieren (IPP-Verfahren).
<b>Fehlstellen</b> 	Die Fehlstelle entsteht durch Farbe, Fett oder Schweiß-Spray. An dieser Stelle besteht keine Zinkschicht (siehe Seite 72 f. «Fett, Öl, Farbe und Schweiß-Schlacke»).	<b>Zinkdraht</b> 1) Fehlstelle mit Feile und Schleif-Scheibe reinigen (bis auf blankes Eisen) 2) Mit Brenner heizen 3) Mit Zinkdraht ausbessern 4) Mit Feile und Bürste nachbehandeln
		<b>Spritzverzinken</b> 1) Schwarze Stelle mit Schleifgerät bis auf den Stahl reinigen 2) Metall-Spritz-Verfahren mit Zinkstaubpulver (siehe Seite 182 ff. «Spritzverzinken»)

## Spezielle Nachbearbeitungen

### Scharniere gängig machen



- 1) Bewegliche Teile rundum wärmen
- 2) Frei schlagen, bewegen
- 3) Mit Draht- oder nasser Fiberbürste Zink abstreifen, anschließend ausbessern

### Aussengewinde reinigen



- 1) Zink schmelzen (Zink mit Flamme wärmen, nicht verbrennen!)
- 2) Flüssiges Zink abklopfen
- 3) Gewinde mit nasser Fiberbürste ausbürsten



Effiziente industrielle  
Gewindereinigung

### Zink lässt sich einfach aufschmelzen

#### Innengewinde reinigen



- 1) Gewinde mit Flamme wärmen (Zink nur schmelzen, nicht verbrennen!)
- 2) Mit Rundbürste ausreiben

#### Löcher schliessen



- 1) Loch mit Zinn Legierung füllen (Zink nicht schmelzen, Zinn Draht hat einen tieferen Schmelzpunkt)
- 2) Flussmittelreste sauber entfernen (greifen Zink an)
- 3) Mit Feile und Drahtbürste sauber verputzen



Zum Schliessen eignen sich Löcher von maximal 8 mm Durchmesser.

## Korrosionsschutz des Zinks im Erdreich

Zink wie Stahl müssen bei Erdkontakt durch genügend dicke, geeignete Beschichtungen geschützt werden. Eingrabene Teile erfordern einen erhöhten Korrosionsschutz aufgrund

- der Beschaffenheit der Erde,
- der erhöhten und andauernden Nässe und
- der Verhinderung der Bildung einer Schutzschicht auf der Zinkoberfläche, welche an der Luft natürlicherweise entsteht.

### Bodenbeschaffenheit und Korrosionsbeständigkeit

Verzinkter Stahl weist je nach Aggressivität des Bodens Abtragungsraten zwischen 2 bis 50  $\mu\text{m}$  pro Jahr auf, Eisen zwischen 5 und 70  $\mu\text{m}$ . Da die vorgängige Einschätzung der Aggressivität des Bodens nicht möglich ist, muss Stahl oder auch Zink durch eine Beschichtung geschützt werden.

### Schutz der Feuerverzinkung durch Beschichtungssysteme im Erdbereich

In Anlehnung an die Beschichtungsnorm DIN EN ISO 12944-5 wird im Erdbereich folgende Beschichtung auf Zink empfohlen:

- Feuerverzinkung 45–85  $\mu\text{m}$
- 2K-Teer-Anstrich  $\geq 320 \mu\text{m}$

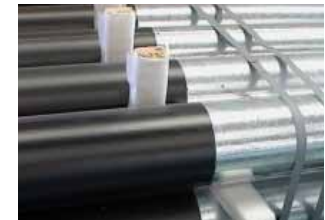
In der Praxis wird bei erdberührten Teilen oft z.B. 200  $\mu\text{m}$  Teer-Anstrich auf Feuerverzinkung verlangt, was aber unter den Forderungen der DIN EN ISO 12944 liegt.

## Aggressivität des Bodens im voraus nicht abschätzbar Schutz des Zinks durch Teer-Epoxid-Ersatz

### Beispiele



8-kant Mast: Im Erdübergangsbereich mind. 500  $\mu\text{m}$  2K-Teer-Anstrich auf Zink. Im einbetonierten Bereich (Mastfuss) nur verzinkt.



Kandelaber: Feuerverzinkung nach DIN EN ISO 1461, im Erdübergangsbereich Sweepstrahlreinigung (SA 2 1/2), 2K-Teer-Anstrich min. 200  $\mu\text{m}$  (unter den Anforderungen DIN EN ISO 12944).

## Weissrost/Material lagern

### Wann bildet sich Weissrost?

Weissrost kann entstehen, wenn frisch verzinkte Oberflächen in Kontakt mit Feuchte kommen, zum Beispiel durch Niederschlag oder Kondenswasser-Bildung. Auf trockenen Zinkflächen entsteht wenige Tage nach dem Feuerverzinken eine schützende Deckschicht (Zinkpatina), welche die Weissrostbildung verhindert. Das Auftreten von Weissrost ist kein qualitativer Mangel. Es ist das Resultat von produktionstechnisch bedingter Lagerung im Freien oder Transport von frisch verzinktem Material bei feuchter Witterung.



Weissrost entstanden durch Regen auf frisch-verzinkte Konstruktion.

Eine leichte Schicht von Weissrost muss normalerweise nicht gereinigt werden. Sie wandelt sich mit Hilfe des CO<sub>2</sub> aus der Luft im Laufe der Zeit in Zinkcarbonat um, welches eine dünne, kompakte und gut haftende Oberfläche bildet und den Zink vor weiterer Oxidation schützt.

### Verhütung von Weissrost

Bei der Lagerung von frisch verzinkten Konstruktionen ist Folgendes zu beachten:

- Lagerung wenn möglich in geschlossenen Räumen oder unter gedeckten Abstellflächen.
- Bei Regen, Nebel, hoher Luftfeuchtigkeit oder Schnee frisch verzinkte Stahlteile nicht im Freien lagern.
- Stahlteile auf Unterlagen (z.B. Kanthölzer) setzen, mit etwa 150 mm Bodenabstand.
- Vollflächige Berührung des Materials vermeiden und für Luftzirkulation sorgen.

Weissrost entsteht nur auf frisch verzinktem Material

Vermeiden durch trockenes Lagern

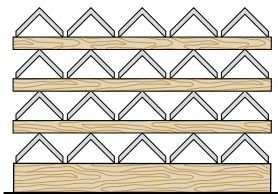
Einfache Entfernung durch Spezialbürste teilweise möglich

- Teile stets mit leichtem Gefälle lagern, so dass Regen- und Kondenswasser abfließen können.
- Bei Hohlkörpern und Profilen die Ansammlung von Feuchtigkeit vermeiden: Offene Seiten nach unten lagern.
- Kein Abdecken durch Planen oder Folien wegen Kondenswasserbildung.
- Als Distanzhalter wird trockenes Tannenholz empfohlen. Gewisse Hölzer sind zu vermeiden (siehe Seite 33 «Chemische Beständigkeit von Zinküberzügen»).

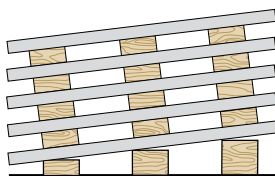
Diese Lagerung von frisch verzinkten Leitplanken wird zu starker Bildung von Weissrost führen:

- Feuchte aus Boden und Gras
- Wasser sammelt sich zwischen dem Material.
- Luft kann zwischen den Teilen nicht zirkulieren.

## Material richtig lagern



Bei Profilen offene Seite nach unten und allgemein gegenseitige grossflächige Berührungen vermeiden.



Teile stets mit leichtem Gefälle lagern und Abstand vom Boden halten.

## Beseitigung von Weissrost

- Bei geringem Befall ist ein Entfernen nicht zwingend notwendig.
- Bei stärkerem Befall sind kleinere Flächen mechanisch zu entfernen.
- Bei starkem und grossflächigem Befall bitte Rücksprache mit der Verzinkerei nehmen.

Um Weissrost mechanisch zu entfernen empfehlen wir unsere Spezialbürsten (zu beziehen in ihrem Galvaswiss Werk).

## Vorgehen:

1. Falls die Oberfläche feucht ist, diese mit einem Heissluftföhn trocknen.
2. Den Weissrost mit der Spezialbürste unter leichtem Druck entfernen, bis die Oberfläche den gewünschten Glanz hat. Vorsicht, bei zu intensivem Bürsten kann die Oberfläche dunkel werden.

Die so gebürstete Oberfläche zeigt bei neuer Befeuchtung (Niederschlag, Kondenswasserbildung) in vielen Fällen keinen weiteren Befall mit Weissrost. Älterer Weissrost, welcher sich eingefressen hat, lässt sich nur teilweise entfernen.



7x14 cm (Richtpreis CHF 43.-)



2x18 cm (Richtpreis CHF 19.-)

## Design-Verzinkung



### Die ästhetische Verzinkung zur jahrelangen Erhaltung des natürlichen Glanzes frischer Feuerverzinkung

#### Anwendungsbereich

Im Innern und im Freien, Metallbau- und leichtere Stahlbauprofile, Design-Verzinkung, Metallbau/Fassadenbau. Artikel, die den Glanz der Feuerverzinkung einige Monate (1-schichtig, innen) oder einige Jahre (2-schichtig, aussen) behalten sollen.

#### Glanzgrad

Langanhaltender Glanz frischer Feuerverzinkung (Silber-Métallisé): je nach Stahlbeschaffenheit und Profilstärke von glänzend blumig bis grau matt.



Die Design-Verzinkung DUROCLEAR bewahrt den natürlichen Glanz frischer Feuerverzinkung jahrelang.

## Kosten DUROCLEAR (1-schichtig, inkl. Feuerverzinkung)

### Gerade Staketengeländer

Ab 38.– CHF/Laufmeter

### Gerade Stahlbauprofile

Bei einer relativen Oberfläche ab 20 m<sup>2</sup>/t

Ab 34.– CHF/m<sup>2</sup>

## Technische Ausschreibungsdaten

- Feuerverzinkung im Schmelztauchverfahren  
nach DIN EN ISO 1461 Schichtstärke min. 55 – 85 µm  
Praxiswert Stahlbau ca. 150 – 300 µm
- Richtarbeiten nach dem Verzinken (nur Stahlbau)
- 1K-FH-Klarlackbeschichtung mit geeignetem Lack min. 15 – 25 µm
- **Total DUROCLEAR 1-Schicht min. 70 – 110 µm**
- 2K-PU-Klarlack min. 40 µm
- **Total DUROCLEAR 2-Schicht min. 95 – 125 µm**



ohne DUROCLEAR

mit DUROCLEAR

# GALVASEAL

## Jahrelanger Glanzerhalt der frischen Feuerverzinkung zu günstigem Preis

### Schutz vor Weissrost und Glanzerhalt der Feuerverzinkung

Der Glanz von frisch feuerverzinkter Ware bleibt je nach Witterung nicht lange erhalten und oft bildet sich nach kurzem eine graue oder weisslich-matte Patina. Dies kann durch Lagerung unter Dach reduziert werden, jedoch wird die Oberfläche in jedem Fall mit der Zeit matt. Bei manchen Konstruktionen ist eine lang anhaltende, glänzende Zinkoberfläche schön und wünschenswert.

#### Anwendungsbereich

GALVASEAL erhält den Glanz der Feuerverzinkung bei normaler Witterung (Korrosionskategorie C2 – C3) einige Jahre und eignet sich im Innern oder im Freien für leichtere Stahlbauprofile, Metallbau etc.

Zu beachten: Für den längeren Schutz des Zinks vor aggressiven Chemikalien und Salz eignet sich GALVASEAL nicht. Anwendungen wie z.B. im Fahrzeugbau sind daher kritisch und müssen vorher geprüft werden. In solchen Fällen könnte sich ein 2-Schicht Klarlacksystem eignen. Bitte erkundigen sie sich bei Ihrem Werk.

Es ist zu beachten, dass sich Oberflächen, welche mit GALVASEAL behandelt wurden, nicht mehr lackieren lassen. GALVASEAL eignet sich als Graffitienschutz für feuerverzinkte Metallbauteile – z.B. Fassaden.



Mit GALVASEAL behandelte Teile erhalten den Glanz. (Unten GALVASEAL, oben unbehandelt nach 15 Monaten in der Witterung).



GALVASEAL schützt vor Weissrost und erhält den Glanz der frischen Verzinkung.



# GALVASEAL

Bei der Behandlung der feuerverzinkten Oberfläche mit GALVASEAL bildet sich eine wenige Mikrometer dicke Schicht:

- Schützt vor Weissrost
- Erhält den Glanz der frischen Verzinkung
- Verzögert den natürlichen Abtrag des Zinks in der Witterung
- Wirkt als Antigriffiti und ist schmutz- und wasserabweisend

## Bestellung

Galvaswiss bietet die Behandlung mit GALVASEAL im direkten Anschluss an das Feuerverzinken an. Durch frühzeitige Kontaktaufnahme mit unserem Verkauf kann die Eignung für ihre Anwendung geklärt und die Applikation fristgerecht gewährleistet werden.

## Kosten Blechware und Rohre, Profiltüren etc.

Vorläufiger Richtpreis

**0.60 CHF/kg**

## Kosten Geländer

Vorläufiger Richtpreis

**Ab 0.30 CHF/kg**

## Kosten Stahlbau

Vorläufiger Richtpreis

**Ab 0.15 CHF/kg**

## Technische Ausschreibungsdaten

Feuerverzinkung im Schmelztauchverfahren nach DIN EN ISO 1461

- |                           |                         |
|---------------------------|-------------------------|
| • Schichtdicke            | mind. 55 – 85 µm        |
| • Schutzschicht GALVASEAL | wenige µm               |
| • <b>Total</b>            | <b>mind. 60 – 90 µm</b> |



Wirkung von GALVASEAL nach 2 Monaten. Links appliziert, rechts unbehandelte Feuerverzinkung nach 2 Monaten im Freien.



Musterblech, obere Hälfte mit GALVASEAL behandelt.

## Nachhaltiges Bauen mit Feuerverzinkung

### Minimierter Energieaufwand für die Erhaltung der Stahlkonstruktion

Der kumulierte Energieaufwand für das Verzinken von einem Kilogramm Stahl stellt nur 4% des kumulierten Energieaufwandes des Stahls dar. Durch den Korrosionsschutz bleibt die «graue Energie»\* des Stahls über einen sehr langen Zeitraum erhalten und kann sogar für weitere Nutzungszyklen recycelt werden.

Durch das Vermeiden von Instandhaltungen bei feuerverzinkten Teilen fällt ein wesentlich niedriger Energieaufwand an.

Bei Lebenszyklus bezogenen Betrachtungen trägt das Feuerverzinken in erheblichem Masse zu einer Reduzierung des Energieverbrauches an Stahlkonstruktionen bei.



Hafenanlage Arbon, Hafenkonstruktion inklusive 150 m Spundwand, Baujahr 1971.

Auch nach 36 Jahren in der aggressiven Wechselwasserzone ist die Feuerverzinkung noch intakt. Schichtdicke Hafenanlage heute um 40 – 80 µm.



SBB-Fahrleitungsmast, 1930 – 1984, Renan  
Zinkschicht nach 54 Jahren über 80 µm.

\* Graue Energie oder kumulierter Energieaufwand: Energiemenge, welche für Herstellung, Transport, Lagerung, Verkauf, und Entsorgung des Produktes verbraucht wird. Dabei werden auch alle Vorprodukte bis zur Rohstoffgewinnung berücksichtigt. Beim Feuerverzinken liegt die graue Energie bei ca. 4.5 MJ/kg Stahl oder in der Größenordnung von 100 MJ/m<sup>2</sup>.

## Feuerverzinkung und Beschichtung im Umweltvergleich

Eine Studie des Institutes für Technischen Umweltschutz (Lehrstuhl Systemumwelttechnik) der TU Berlin untersuchte die Ökobilanzen einer Feuerverzinkung (DIN EN ISO 1461) im Vergleich zu einer Beschichtung (DIN EN ISO 12944).

Eine Ökobilanz bezieht sich auf den ganzen Lebenszyklus des Produktes (Herstellung, Nutzung, Entsorgung) und berücksichtigt alle umweltrelevanten Stoffe, welche der Umwelt entnommen werden (z.B. Erze, Erdöl) sowie Stoffe, welche in die Umwelt gelangen (z.B. Emissionen, Abfälle). Aus den Daten werden dann die Auswirkungen auf verschiedene Aspekte der Umwelt ermittelt (z.B. Ressourcenverbrauch, Treibhauseffekt).

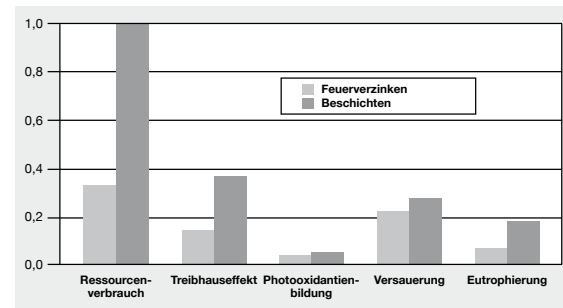
### Betrachtete Korrosionsschutzsysteme

Anforderung: Korrosionsschutz für mittelschweren Stahlbau (20 m<sup>2</sup>/t) mit 60 Jahren Nutzungszeit in einer Umgebung mit der Korrosivitätsklasse C3.

Feuerverzinkung: Schichtdicke von 100 µm, Korrosionsrate bei Kategorie C3 von 1 µm/Jahr.

Beschichtung: 3-Schicht-System von insgesamt 240 µm, nach 20 und 40 Jahren eine fachgerechte, bauseitige Instandsetzung durch teilweise Reinigung und Renovierungsbeschichtung.

### Umweltbelastung – Feuerverzinken im Vergleich zu Beschichten



Ressourcenverbrauch: Rohstoffe, Energie etc. / Treibhauseffekt: Globale Erwärmung / Photooxidantien: Bewirken Sommersmog / Versauerung von Böden und Gewässern / Eutrophierung: Belastung von Gewässern.

Quelle: Institut Feuerverzinken GmbH

Die Länge der Balken ist ein Mass für die Umweltbelastung. Das System Feuerverzinken führt in allen Kategorien zu einer deutlich geringeren Belastung der Umwelt als die Beschichtung. Besonders eindeutig ist der Unterschied beim der Eutrophierung (-82%), dem Ressourcenverbrauch (-68%) und dem Treibhauseffekt (-62%).

### Fazit

Für ein langlebiges Stahlbauobjekt stellt das Feuerverzinken gegenüber einem Beschichtungssystem die deutlich geringere Umweltbelastung dar. Die Wartungsfreiheit und Langlebigkeit der Feuerverzinkung garantieren ihre Umweltfreundlichkeit.

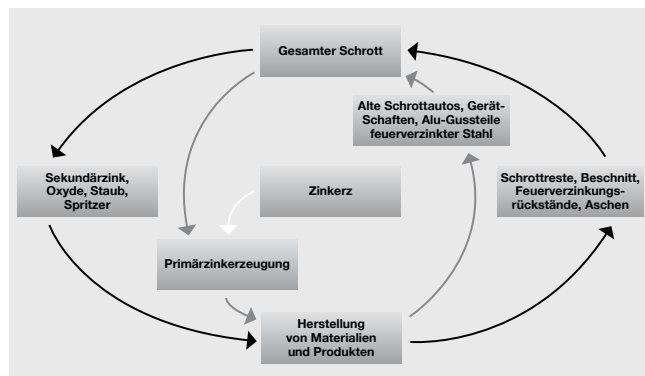
## Recycling beim Feuerverzinken

### Zink-Recycling

Zink kann ohne Qualitätsverlust beliebig oft recycelt werden. Zurzeit werden ungefähr 30% des Bedarfs durch recyceltes Zink gedeckt. Die Recyclingquote des zur Verfügung stehenden Zinks beträgt ca. 80%. Zur Herstellung von primärem Zink (aus Erzen) werden 50 MJ Energie pro kg benötigt, beim Umschmelzzink aus recycelten Bauzinkprodukten lediglich 2.5 MJ/kg.

### Recycling von Feuerverzinkungsrückständen

Während des Feuerverzinkungsprozesses wird nur soviel Zink verbraucht wie notwendig, der Überschuss läuft ins Zinkbad zurück. Bei anderen Korrosionsschutzverfahren durch Sprühen entstehen im Gegensatz dazu grosse Materialverluste durch Overspray.



Recyclingkreislauf von Zink. Quelle: Institut Feuerverzinken GmbH

Auf der Zinkbadoberfläche entsteht durch Oxidation Zinkasche, im Zinkbad durch die Reaktion mit Eisen Hartzink. Beide Nebenprodukte werden vollständig recycelt und als Zusätze zum Beispiel im Gummi von Reifen, in Tierfutter-Zusätzen, in der Pharma oder in der Kosmetik eingesetzt.

### Erneutes Verzinken von feuerverzinkten Bauteilen

Feuerverzinkte Stahlprodukte können nach jahrzehntelangem Einsatz in einem Säurebad «abgebeizt», erneut verzinkt und wieder eingesetzt werden.



Gebrauchte Gerüstelemente vor und nach dem Feuerverzinken.

### Recycling von feuerverzinktem Stahl

Feuerverzinkter Stahl kann mit anderem Stahlschrott recycelt werden. Zink verflüchtigt sich früh bei diesem Prozess, wird aufgefangen und recycelt.

## Zink in der Umwelt

### Zink in der Natur

Viele natürliche Gesteinsarten enthalten Zink in unterschiedlicher Menge. Der durchschnittliche Anteil in der Erdkruste beträgt 70 mg/kg (Trockengewicht) und variiert zwischen 10 und 300 mg/kg.

Durch natürliche geologische Prozesse ist an manchen Stellen ein weit höherer Anteil konzentriert und die Erzvorkommen werden zur Zinkproduktion genutzt. Auf allen Kontinenten wird Zink industriell abgebaut, am meisten in China, Australien und Peru.

Durch die natürliche Verwitterung von Gesteinen durch Wind und Wasser wird ein geringer Teil des Zinks ständig bewegt und in die Umwelt transportiert. Das Leben auf der Erde hat sich aufgrund der guten Verfügbarkeit des Zinks dessen spezifische Eigenschaften bei biologischen Reaktionen zunutze gemacht. Zink spielt bei Lebewesen eine wichtige Rolle in mehr als 200

Enzymen zum Beschleunigen von biochemischen Reaktionen wie z.B. dem Abbau von Alkohol im Körper. Es stabilisiert auch die Struktur von Proteinen und der DNS, unserem Erbmaterial.

Zink ist somit essentiell für alles Leben. Bei zu niedriger Aufnahme treten Mangelerscheinungen wie verminderter Geruchs- und Geschmackssinn, Hauterkrankungen, Lethargie und verminderte Fruchtbarkeit auf. Man geht heute davon aus, dass nahezu für die Hälfte der Weltbevölkerung das Risiko besteht, an Zinkmangel zu leiden.



Vitamintabletten oder auch Milchprodukte enthalten Zink.



### Zink in der industrialisierten Umwelt

Obwohl für den Menschen und das Ökosystem Zink unabkömmlich ist, kann eine zu hohe Konzentration schaden. Für die Umwelt gibt es einen optimalen Konzentrationsbereich, welcher weder zu Mangelerscheinungen noch zu toxischen Auswirkungen führt.

Die industriellen Zinkemissionen haben in den letzten Jahrzehnten kontinuierlich abgenommen. Die Natur ist zudem in der Lage, Zink zu binden und damit seine Bioverfügbarkeit zu reduzieren. Das Zink wird je nach Umweltfaktoren wie z.B.

dem pH-Wert, der Wasserhärte oder der Zusammensetzung des Untergrundes im Boden gebunden und zeigt daher ein geringeres Potential für Umweltwirkungen.

Diese reduzierte Verfügbarkeit von Zink erklärt, warum erhöhte Zinkkonzentrationen im Boden im Umfeld von sehr grossflächigen, feuerverzinkten Konstruktionen wie Strommasten in der Praxis nicht die toxischen Auswirkungen zeigen, welche unter Umständen aufgrund theoretischer Überlegungen erwartet worden wären.

skywalk allgäu

**Stahlbau: Biedenkapp Stahlbau GmbH**  
**Korrosionsschutz:**  
**Feuerverzinkung von Galvaswiss**

