



Expert Knowledge

Expert Knowledge

Korrosionsschutz für Brückendehnfugen und Tragkonstruktionen

Handwritten mathematical notes on a chalkboard background, including:

- $$\{K, q_i\} = \frac{\partial K}{\partial p_i} = \dot{q}_i$$

$$\{K, p_i\} = -\frac{\partial K}{\partial q_i} = \dot{p}_i$$
- $$\dot{q}_i = \{K, p_i\}$$

$$\dot{p}_i = -\{K, q_i\}$$
- $$\frac{dK}{dt} = \frac{\partial K}{\partial t} + \sum \{K, q_i\} \dot{q}_i + \sum \{K, p_i\} \dot{p}_i$$
- $$\int d^3r \vec{r} \cdot \vec{E} = \int d^3r \left[\frac{1}{\mu} \vec{E} \cdot (\nabla \times \vec{B}) - \frac{\rho}{\epsilon} \frac{\partial \epsilon}{\partial t} \right]$$
- $$dK = \frac{\partial K}{\partial p} dp + \frac{\partial K}{\partial q} dq$$
- $$\mathcal{H} = \mathcal{H}(q, p)$$
- $$\dot{q}_j = \frac{\partial \mathcal{H}}{\partial p_j}$$

$$\dot{p}_j = -\frac{\partial \mathcal{H}}{\partial q_j}$$
- $$\frac{\partial \mathcal{H}}{\partial t} + \frac{1}{\mu_0} \nabla \cdot (\vec{E} \times \vec{B}) = -\vec{j} \cdot \vec{E}$$
- $$\Delta \Phi + \frac{\partial}{\partial t} (\nabla \cdot \vec{A}) = -\rho_{ext}$$
- $$W = \int dq \sqrt{2\alpha - q^2}$$
- $$S(q, \alpha, t) = W(q, \alpha) - \alpha t \rightarrow S = W - \alpha t = \int dq \sqrt{2\alpha - q^2} - \alpha t$$
- $$p = \frac{\partial S}{\partial q}$$
- $$K + \frac{\partial S}{\partial t}(q, \alpha, t) \left(\frac{dW}{dq} \right)^2 + \frac{q^2}{2} - \alpha = 0$$
- $$Q = \left[\frac{\partial S}{\partial E} \right] = \frac{\partial S}{\partial \alpha} = \int \frac{dq}{\sqrt{2\alpha - q^2}} - t$$
- $$t + Q = \int \frac{dq}{\sqrt{2\alpha - q^2}} = \arcsin \frac{q}{\sqrt{2\alpha}}$$
- $$q = \sqrt{2\alpha} \sin(Q + t)$$
- $$F_1 = F_1(q, \alpha) \frac{\partial S}{\partial t} + dW(q, \alpha)$$
- $$F_2 = F_2(q, p, t)$$
- $$F_3 = F_3(p, \alpha, t)$$
- $$F_4 = F_4(p, p, t)$$
- $$U = U_1 + \dots + U_n = \frac{c_0}{2} E^2 + \dots$$
- $$\sum_j (P_j \dot{Q}_j - h - p_j \dot{q}_j + \mathcal{H}) = \sum_j \left(\frac{\partial F_j}{\partial q_j} \dot{q}_j + \frac{\partial F_j}{\partial p_j} \dot{p}_j + \frac{\partial F_j}{\partial t} \right)$$
- $$W_n - W_a = \int_{t_1}^{t_2} dt \sum_{j=1}^n [P_j \dot{Q}_j - h(P, Q) - p_j \dot{q}_j + \mathcal{H}(q, p)]$$
- $$= \int_{t_1}^{t_2} dt \frac{dF_j}{dt} = F_j(t_2) - F_j(t_1)$$
- $$\frac{dX}{dt} = \sum_j \left(\frac{\partial X}{\partial q_j} \dot{q}_j + \frac{\partial X}{\partial p_j} \dot{p}_j \right)$$
- $$\vec{E} \times \vec{B} = \vec{B} \cdot (\nabla \times \vec{E}) - \vec{E} \cdot (\nabla \times \vec{B})$$
- $$\mathcal{H} = E$$
- $$f = x^2$$
- $$xf' = 2x^2 = 2f$$
- $$f = xy$$





Bedeutung und Kernvoraussetzungen



* Sources:

- www.corrosion.org
- www.nace.org/Publications/Cost-of-Corrosion-Study
- www.g2mtlabs.com/corrosion/cost-of-corrosion
- www.tradingeconomics.com/united-states/gdp
- www.galvanizeit.org
- www.feuerverzinken.com

Die Bedeutung eines zuverlässigen, langlebigen Korrosionsschutzes

Die jährlichen, durch Korrosion entstandenen, Kosten wurden auf etwa 3 % des BIP geschätzt, sowohl in den Vereinigten Staaten von Amerika als auch auf einer globalen Betrachtung. Werden die indirekten Kosten zusätzlich berücksichtigt, steigt die Zahl schätzungsweise auf etwa 6 % des BIP – oder anders ausgedrückt auf Billionen von Dollar pro Jahr*.

Bei kritischen Brückenkomponenten wie Lagern und Dehnfugen stehen die Belastungen durch Korrosion im Vordergrund, da die Leistung, die Gebrauchstauglichkeit sowie die Sicherheit einer Brücke von der ordnungsgemäßen Funktion dieser Schlüsselkomponenten abhängt.

Reparaturarbeiten an Brückenlagern und Dehnfugen können sehr teuer sein und einen erheblichen Einfluss auf die Verkehrssituation nehmen. Daher liegt es auf der Hand, dass die Auswirkungen noch wesentlich gravierender sein können, wenn ein Bauteil vollständig ausgetauscht werden muss, wie es sich ergeben kann, wenn Korrosionsschäden sehr ausgeprägt sind.

Wesentliche Anforderungen an werkseitig angewandte Korrosionsschutzsysteme sind:

- Lange Lebensdauer bis zur ersten grossen Wartung
- Einfache Reparatur von kleineren Beschädigungen
- Widerstand gegen weitere Verschlechterung, sobald die Schäden auftreten
- Härte
- Abriebfestigkeit
- Optik

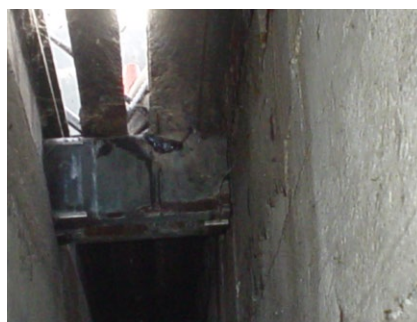
Die Zeitspanne bis zur ersten grossen Instandhaltung hängt stark von der Umgebung ab, in der sich die Struktur befindet.

Insbesondere hängt es davon ab, wie stark die Umgebung von Korrosionseinflüssen belastet ist:

- gemässigttes Klima
- Gegenden mit einer hohen Luftverschmutzung (SO_2 : $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bis $90 \mu\text{g}/\text{m}^3$), die unter einem wesentlichen Einfluss von Chloriden stehen, z. B. verschmutzte städtische Gebiete, Industriegebiete, Küstengebiete ohne Salzwasserspray und Exposition gegenüber starker Wirkung von Tausalzen
- Subtropische Zonen mit einer mittelschwer verschmutzten Atmosphäre sind alle weitaus korrosiver gegenüber Stahl- und Korrosionsschutzsystemen als Binnenland und ländliche Umgebungen

Aus diesem Grund ist es von entscheidender Bedeutung, dass die Umwelt bei der Auswahl und Gestaltung einer Korrosionsschutzlösung berücksichtigt wird.

Wenn ein Brückenlager ausgetauscht werden muss, können die Kosten (inklusive des Anhebens des Überbaus) erheblich sein.



Korrosion von Dehnfugen insbesondere an ihren beweglichen/gleitenden Verbindungen kann einen negativen Einfluss auf die Funktionstüchtigkeit haben. Häufig führen diese Schäden zu einem vollständigen Austausch, was zu hohen Kosten und starken Auswirkungen auf den Verkehr führt.

Beschichtungssysteme



Einführung

Durch Farbe aufgetragene Korrosionsschutzsysteme haben eine lange und erfolgreiche Geschichte in allen Bereichen der Bauindustrie, mit dem Ergebnis, dass es langjährige Erfahrungen in der Verwendung sowie ein breites Vertrauen in die Leistung und Zuverlässigkeit gibt.

Gleichwohl kann die mechanische Belastbarkeit einer Feuerverzinkung nicht erzielt werden.

Die Leistung in Bezug auf die wichtigsten Anforderungen

Lange Lebensdauer bis zur ersten Wartung

Die relevante ISO-Norm ISO 12944 betrachtet drei verschiedene Schutzdauerklassen (niedrig, mittel und hoch) und definiert diese in Bezug auf die erwartete Lebensdauer eines Beschichtungssystems für die erste grosse Revision:

- Niedrig = 2 bis 5 Jahre
- Mittel = 5 bis 15 Jahre
- Hoch = über 15 Jahre

Eine viel längere Lebensdauer ist in der Regel nicht zu erwarten.

Einfache Reparatur von kleineren Schäden

Mit Bürste, Reinigung von Korrosion und abtragen von defektem Korrosionsschutz.

Widerstand gegen weitere Verschlechterungen, sobald erste Schäden auftreten.

Wasser kann sich unter lackierten Beschichtungen ausbreiten, wodurch die Farbe schnell abblättert.

Härte

Niedrig – bereits durch geringe Einwirkung Schäden möglich.

Abriebfestigkeit

Nicht hoch – erhöhte Anfälligkeit für Abrieb, z.B. auf befahrenen Flächen.

Erscheinungsbild

Anfänglich gut – kann sich aber schnell verschlechtern, wenn erste Schäden oder Verschlechterungen auftreten.

Besondere Einschränkungen

- Mehrere Lagen / Auftragungen erforderlich, mit entsprechenden Trocknungszeiten je Schicht: arbeitsintensiv
 - Ein geeigneter Arbeitsraum wird für den Auftrag benötigt
 - Qualitätskontrollaufwand / große Herausforderung eine ebene und gleichmäßige Schichtdicke zu erreichen
- Sehr anfällig für Umgebungsbedingungen (Temperatur und Feuchtigkeit) während der Auftrags- und Trocknungsprozessen

Besondere Vorteile

Große Auswahl an Farben.

	Korrosionskategorie C3	Korrosionskategorie C4 Alternative 1	Korrosionskategorie C4 Alternative 2	Korrosionskategorie C5
Sandstrahlen	Sa 2 ½	Sa 2 ½	Sa 3	Sa 2 ½
Zinkstaub EP Grundierung, 2-Pack	80 µm	80 µm	-	80 µm
Flammspritzverzinken	-	-	80 µm	-
EP, 2-Pack	-	80 µm	80 µm	160 µm
PUR, 2-Pack	80 µm	80 µm	80 µm	80 µm

mageba Basiskorrosionsschutzsysteme für Lager und Dehnfugen nach ISO 12944:



Feuerverzinkung (tZn)



Einführung

Die Feuerverzinkung (tZn) erzeugt eine schützende Zink/Zink-Legierungsbeschichtung auf einem Stahlelement. Die zu bearbeitenden Teile werden in ein Bad aus geschmolzenem Zink getaucht, wodurch bei > ca. 450 °C eine chemische Reaktion zwischen dem Stahl und dem Zink eintritt. Durch die eintretende Diffusionsreaktion „verteilt“ die verzinkte Beschichtung sich senkrecht zu allen Flächen in einer gleichmässigen Geschwindigkeit; die Besonderheit: nicht als „separate“ Beschichtung, sondern als Teil der Struktur.

Daher wird die Beschichtung an Ecken und Kanten die gleiche Dicke wie auf ebenen Flächen erhalten, und somit einen gleichmässigen Korrosionsschutz bieten. Dies ist ein wichtiges Merkmal, da ein Korrosionsschutzsystem als unzureichend angesehen

werden kann, sobald es an einer Stelle zu gravierenden Schäden kommt; unabhängig ob dies auf einer Fläche, Kante oder einer Ecke auftritt.

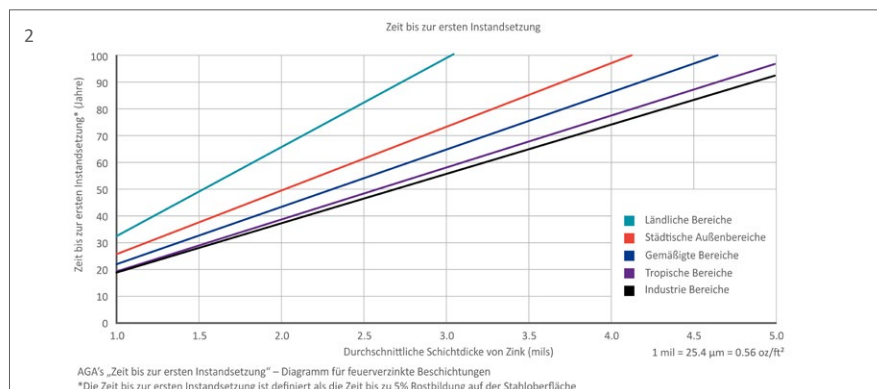
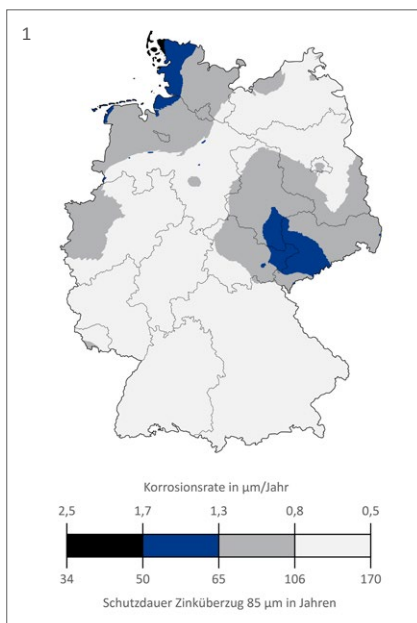
Deutsche Richtlinien

In Deutschland zeigen die vom Umweltbundesamt veröffentlichten Leitlinien (s. Abbildung 1), dass die Korrosionsrate in den meisten Bundesländern zwischen 0,5 und 0,8 Mikrometer pro Jahr liegt. Mit diesen Abtragsraten kann eine Zinkbeschichtung mit einer Dicke von 85 µm fast in der gesamten Bundesrepublik einen Schutz zwischen 106 und 170 Jahren leisten. Dies zeigt, dass die auf die Lebensdauer bezogenen Vorschriften der internationalen Norm DIN EN ISO 14713-1, angewandt auf Deutschland, auf der sicheren Seite liegen.

Amerikanische Richtlinien

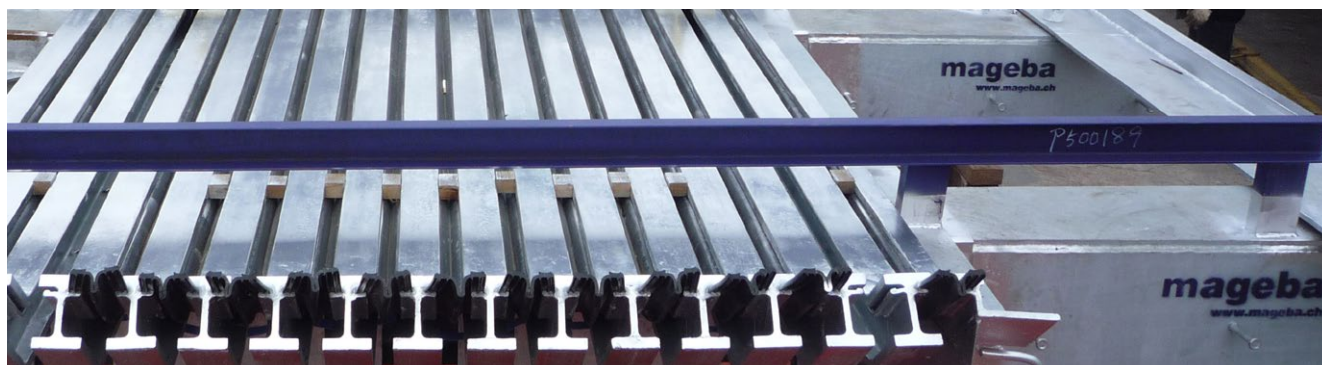
In den Vereinigten Staaten gibt die „American Galvanizers Association“, welche jahrzehntelange Korrosionsraten-Daten aus aller Welt verwendet, Anhaltspunkte dafür, wie die Lebensdauer (definiert als die Zeit bis zu 5 % Rostbildung der Stahloberfläche) mit der Umwelt in Zusammenhang stehen kann (s. Abbildung 2).

- 1 Bundesamt für Umwelt „Zinkkorrosionsrate Landkarte“
- 2 American Galvanizers Association – „Zeit bis zur ersten Instandsetzung“
- 3 EN ISO 14713-1, Tabelle 2 – Schutzdauer für unterschiedliche Zinküberzüge in unterschiedlichen Korrosivitätskategorien



Verfahren	Bezugsnorm	Mindestdicke	Ausgewählte Korrosionskategorien (ISO 9223), kürzeste/längste Schutzdauer (Jahre) und Schutzdauerklassen (VL, L, M, H, VH)							
			µm	C3	C4	C5	CX			
Feuerverzinkung	EN ISO 1461	85	40/>100	VH	20/40	VH	10/20	H	3/10	M
		140	67/>100	VH	33/67	VH	17/33	VH	6/17	H
		200	95/>100	VH	48/95	VH	24/48	VH	8/24	H

mageba tZn Systeme und Vorteile



Internationale Richtlinien

Wie in Abbildung 3 dargestellt, definiert die internationale Norm EN ISO 14713-1 die erwartete Lebensdauer eines feuerverzinkten Korrosionsschutzsystems. Konservativ betrachtet gilt es sicherzustellen, dass die Haltbarkeit des Korrosionsschutzes nicht zu optimistisch bewertet wird. Aus diesem Grund basieren die tZn Korrosionsschutzlösungen der mageba auf EN ISO 14713-1.

mageba's Standard tZn Systeme

C4 – Feuerverzinkt

Korrosionsschutz nach EN ISO 14713-1. Korrosivität Kategorie C4, erwartete Schutzdauer VH (sehr hoch). Stahlkomponenten (mit spezifischen Ausnahmen je nach Produkt) sind feuerverzinkt (nach EN ISO 1461) mit einer Mindestzinkbeschichtung von 85 µm.

C5 – Feuerverzinkt

Korrosionsschutz nach EN ISO 14713-1. Korrosivität Kategorie C5, erwartete Schutzdauer VH (sehr hoch). Stahlkomponenten (mit spezifischen Ausnahmen je nach Produkt) sind feuerverzinkt (nach EN ISO 1461) mit einer Mindestzinkbeschichtung von 140 µm.

Leistung in Bezug auf die wichtigsten Anforderungen

Lange Lebensdauer bis zur ersten Wartung

Eine Lebensdauer von 100 Jahre oder mehr kann vielen Fällen erreicht werden, dies auch bei einer relativ geringen Zink-Schichtstärke von 85 µm. Des Weiteren kann durch die Hochtemperaturfeuerverzinkung die Verschleissfestigkeit von Einzelkomponenten wie z.B. Lärmschutzplatten gesteigert werden.

Einfache Reparatur von kleineren Schäden

Zum einen mit dem Pinsel, z. B. mit einer geeigneten Zink-Grundierung, nach einer Bedarfsgesteuerten Reinigung. In gewissem Masse verfügen Zinkbeschichtungen über einen Selbstheilungseffekt, wobei sich dünne Risse effektiv ohne Fremdeinwirkung wieder versiegeln.

Widerstand gegen Korrosion, sobald erste Schäden auftreten

Durch wechselseitige Diffusion von Zink und Stahl entsteht ein fester und absolut lückenloser Schutz der, ganz im Gegensatz zu anderen Verfahren (Lackierung), nicht unterwandert werden kann.

Härte

Sehr hoch

Abriebfestigkeit

Sehr hoch

Erscheinungsbild

Wo die Farbe nicht prioritär ist, haben feuerverzinkte Oberflächen ein sehr gutes Erscheinungsbild – besonders nach vielen Jahren des Dienstes aufgrund ihrer ausgezeichneten Haltbarkeit und der langfristigen Fähigkeit, Korrosion fast gänzlich zu verhindern.

Besondere Einschränkungen

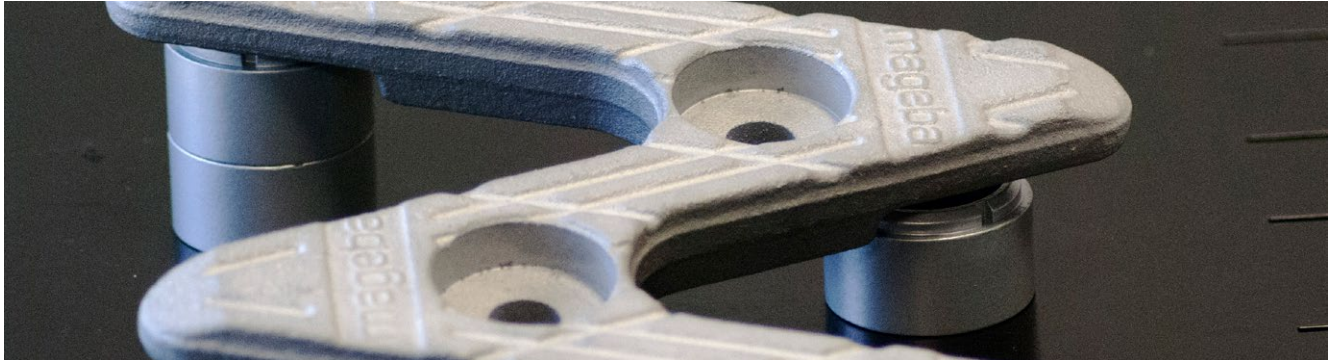
- Die Größe der galvanisch verzinkten Teile ist durch die Größe des Zinkbades begrenzt
- Es ist darauf zu achten, dass sich die Stahlteile aufgrund der hohen Hitze beim Feuerverzinken nicht inakzeptabel verformen
- Kann in der Regel nur von einem spezialisierten tZn-Anbieter durchgeführt werden
- Abhängig von der Verfügbarkeit eines geeigneten tZn-Anbieters – geografisch und zeitlich
- Benötigt Transport zum und vom tZn-Lieferanten

Besondere Vorteile

- Korrosionsschutzarbeiten werden durch Korrosionsschutz-Fachbereichsspezialisten durchgeführt, um die Qualität zu gewährleisten
- Robust hinsichtlich der Behandlung und Bedingungen beim Einbau



Hochtemperaturverzinkungen



Einführung

Normal-Temperatur-Verzinkungen, mit geschmolzenem Zink bei einer Temperatur von ca. 450 °C, erzeugen eine Zinkbeschichtung, die in der Eigenschaft und der Leistung von innen (Stahlsubstrat) nach außen (freiliegende Oberfläche) variiert. Die sogenannten η -, ζ - und δ -Phasen (siehe Abbildung 4) haben Härtewerte auf der Vickers-Skala, die zwischen ca. 40 HV und 150 HV (mit der geringsten Härte an der exponierten Oberfläche) liegen.

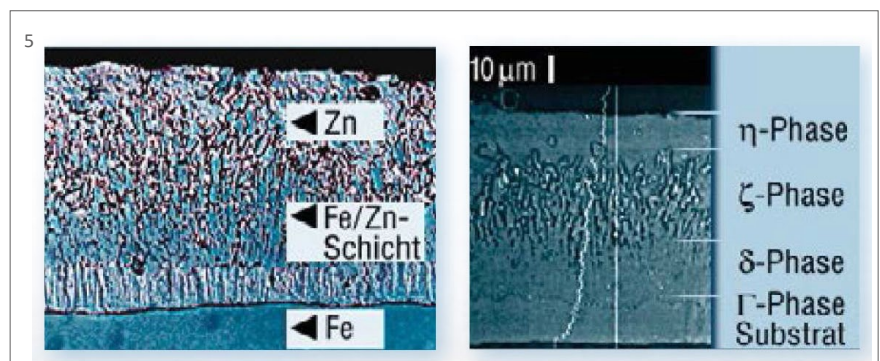
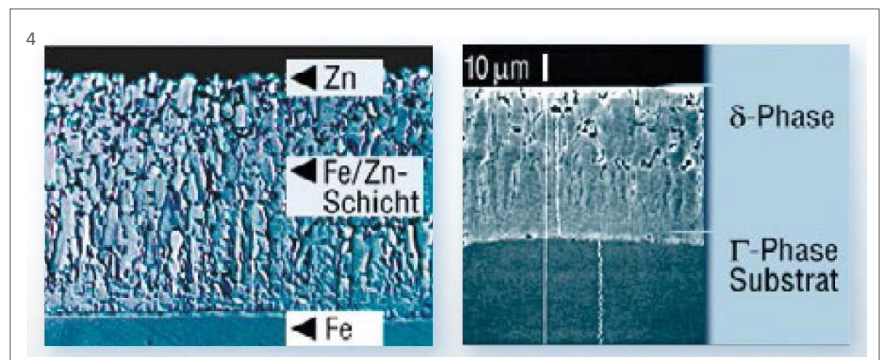
Hochtemperaturverzinkung ist ein fortschrittlicheres Heißtauchmetall-Beschichtungsverfahren, bei dem die Stahlkomponenten in einem keramikbeschichteten, induktionsbeheizten Bad bei Temperaturen von 560 °C bis 630 °C beschichtet werden.

Dieses Verfahren erzeugt nur eine δ -Phase (siehe Abbildung 5) mit einem Härtewert über die gesamte Beschichtung von ca. 150 HV – stark zunehmende Abriebfestigkeit und Steinschlagzähigkeit, und der Normal-Temperatur-Verzinkung weit überlegen.

Sinusplatten

Die mageba setzt aus den aufgeführten Gründen eine Hochtemperaturverzinkung für den Korrosionsschutz der geräuschreduzierenden Oberflächenplatten von Lamellenfugen und einprofiligen Dehnfugen ein. Hauptgrund hierfür ist der Umstand, dass diese einem kontinuierlichen Abrieb durch überquerende Fahrzeuge ausgesetzt sind. An der Abtriebsfläche einer Dehnfuge aus Stahl, sind mechanische Beschädigungen in der Regel die Hauptursache für einen Korrosionsschutzausfall. Es gilt, je höher die Abriebfestigkeit ist, desto besser ist die Haltbarkeit. In diesem Kontext verbessert die Hochtemperatur-

verzinkung auch die Rutschfestigkeit bei nassen Bedingungen und verbessert gleichzeitig, durch die ebenmäßigere Schicht, die Sicherheit der Schraubverbindungen.

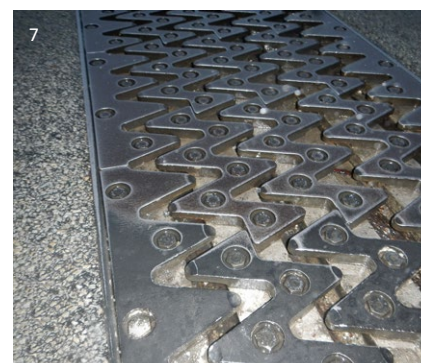
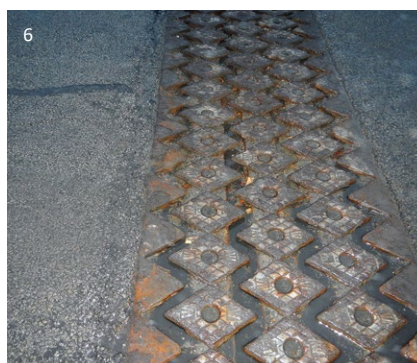


- 4 Härtewerte für Hochtemperaturverzinkungen:
 δ -Phase (only): ca. 150 HV
- 5 Härtewerte für Normal-Temperatur-Verzinkungen:
 η -Phase: ca. 40–60 HV
 ζ -Phase: ca. 60–120 HV
 δ -Phase: ca. 150 HV

Zusammenfassung

	Lackierung	Feuerverzinkung
Haltbarkeit bis zur ersten Instandsetzung	10 – 20 Jahre	Meist > 100 Jahre – Minimierung der Kosten
Reparaturbeschaffenheit	Aufgetragene Lackierungen und Farben sind nicht „selbstheilend“ , d.h. eine manuelle Ausbesserung zur Reparatur ist stets erforderlich	„Selbstheilend“, bis zu einem gewissen Grad, keine Notwendigkeit für eine Ausbesserung
Bewertung der zunehmenden Korrosion sobald eine Beschädigung eintritt	Wasser kann lackierte Beschichtungen unterwandern und die Korrosion breitet sich unter der intakten Beschichtung aus	Durch wechselseitige Diffusion von Zink und Stahl entsteht ein fester und lückenloser Schutz , der nicht unterwandert werden kann
Härte	Nicht hoch – hohe Anfälligkeit für Schäden	Etwa 20 mal härter im Vergleich zur Lackierung – Schadensanfälligkeit deutlich geringer
Abriebsfestigkeit	Nicht hoch – hohe Anfälligkeit für Schäden	Etwa 10 mal härter im Vergleich zur Lackierung – Schadensanfälligkeit deutlich geringer
Erscheinungsbild	Anfänglich sehr gut , vor allem wegen der großen Farbauswahl ; kann sich aber schnell verschlechtern , wenn Schäden oder Verschleißerscheinungen auftreten	Keine Auswahloptionen in der Farbgebung . Der Farbton weist aber auch nach vielen Jahren im operativen Betrieb keine Mängel auf
Einschränkungen	Mehrere Arbeitsschritte sind erforderlich und durch die Trockenzeit ist es sehr zeit- und arbeitsintensiv . Zudem wird ein entsprechender Arbeitsraum benötigt. Intensive Qualitätskontrolle durch die Anforderungen zur Erreichung einer gleichmäßigen Schicht	Benötigt wird ein Transport zum / vom tZn-Lieferanten . Es muss darauf geachtet werden, dass sich die Elemente aufgrund der hohen Wärme beim Verzinken sich nicht inakzeptabel verformen
Vorteile	Eine große Auswahl an Farben	Verbesserte Qualitätskontrolle durch klar definierten Prozess und geringere Ansprüche an die Umgebungsbedingungen während der Bearbeitung

Anmerkung: Wo bereits verzinkte Einzelteile verbunden werden sollen, ist eine Verbindung durch Schweißen nicht zu empfehlen. Denn Schweißnähte/-flächen müssen frei von Verzinkungen sein (oder einen alternativen Korrosionsschutz), und eine nachträgliche lokale Feuerverzinkung des Schweißbereiches ist nicht möglich, es sei denn, das zusammengesetzte Produkt wird im Anschluss wieder feuerverzinkt (sofern überhaupt möglich). In diesem Fall ist ein gemischter Prozess erforderlich, wobei eine Lackierung typischerweise auf die geschweißten Bereiche aufgetragen wird.



- 6 Standard K-Schutz nach ZTV-ING, A3 bei Passau ca. 15 Jahre, deutliche Korrosion
- 7 A3 bei Passau ca. 15 Jahre, >10 µm Restzinkschicht, keine Korrosion



Expert Knowledge

Weltweite Referenzen



Naab Brücke | Deutschland



Waikato River Bridge | Neuseeland



Aizhai Bridge | China



Port Mann Bridge | Kanada



Golden Ears Bridge | Kanada



Mackays to Peka Peka Expressway | Neuseeland

mageba Hauptsitz

mageba Group
Solistrasse 68
8180 Bülach – Switzerland
Tel. +41 44 872 40 50
info.ch@mageba-group.com

mageba im Internet

Für weitere Informationen besuchen Sie uns auf mageba-group.com
Interessante Videos finden Sie auf unserem YouTube-Kanal: www.youtube.com/magebagroup
Erhalten Sie spannende Brancheneinblicke, indem Sie uns auf LinkedIn folgen: <http://ch.linkedin.com/company/mageba-sa>



mageba Infrastrukturprodukte



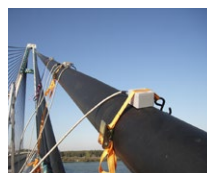
Bauwerkslager



Fahrbahnübergänge



Erdbebenschutz



Bauwerksüberwachung

mageba
mageba-group.com

engineering connections®