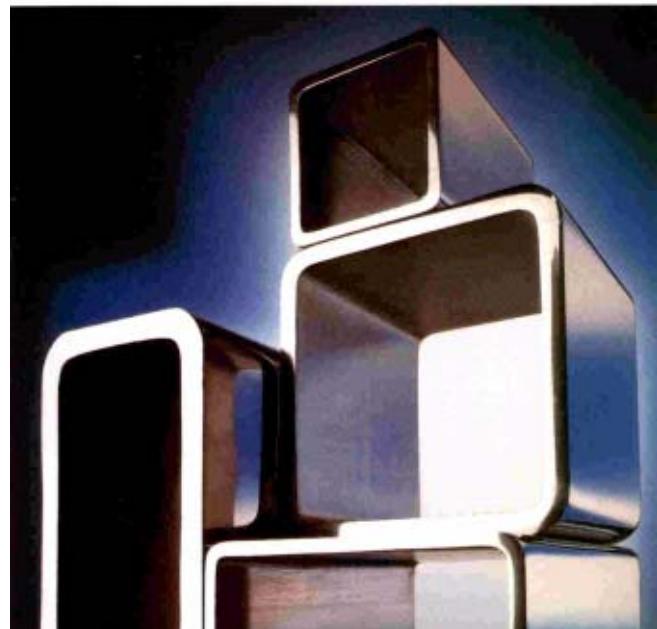


# Hohlprofile



**Technische Information  
Ausgabe 5  
Korrosionsschutz  
von Hohlprofilen**

**HOESCH**

## **Hohlprofile**

Technische Informationen, Ausgabe 5  
Korrosionsschutz von Hohlprofilen

Prof. Dr. habil. Günter Schmidt  
Dipl.-Chem. Hans-Jürgen Kocks  
Labor für Korrosionsschutztechnik  
an der Märkischen Fachhochschule Iserlohn

## **Inhalt**

- 1. Grundlagen**
- 2. Korrosionsprobleme**
- 3. Korrosionsarten und Korrosionserscheinungsformen**
- 4. Korrosionsschutzmöglichkeiten**
  - 4.1 Metallische Überzüge
  - 4.2 Organische Beschichtungen
  - 4.3 Elektrochemischer Korrosionsschutz
  - 4.4 Konstruktive Maßnahmen
- 5. Reparatur und Instandhaltung von Korrosionsschutzsystemen**
  - 5.1 Ausbesserung von Überzügen
  - 5.2 Ausbesserung von Beschichtungen
  - 5.3 Ausbesserung von Beschichtungsschäden auf feuerverzinktem Stahl
- 6. Wirtschaftliche Aspekte**
- 7. Literatur**

# Korrosionsschutz von Hohlprofilen

## 1. Grundlagen

Hohlprofile bieten in vielen Bereichen des Stahlbaus große Vorteile. Die gute Beständigkeit der Hohlprofile bezüglich Torsion und Knickbelastung empfiehlt sie zur Verwendung als Stützen beispielsweise im Hallenbau, für Baugerüste, Leitungs- und Funkmasten, Teleskope, Leitplanken, bei Fahr- und Schaugeschäften für Kirmes und Festplätze, für Auslegearme bei Baggern und Krananlagen sowie für Rahmenkonstruktionen im Fahrzeug- und Maschinenbau und viele andere Anwendungen (Bild 1-3). In der Offshore-Technik und im Schiffsbau werden neben anderen Vorteilen vor allem auch die niedrigen Widerstandsbewerte, z.B. bei Angriff durch Windkräfte und Wasserströmung, ausgenutzt.

Bei ihrem Einsatz müssen die Hohlprofilbauteile den zu erwartenden mechanischen und korrosiven Belastungen durch mechanische und korrosive Einwirkungen für die geplante Nutzungsdauer ohne Schaden, d.h. ohne Einbuße ihrer Funktion, widerstehen. Während die mechanischen Belastungen konstruktiv berücksichtigt werden können, müssen zum Schutz vor Korrosionsbeanspruchungen Maßnahmen ergriffen werden, die auf das jeweilige Belastungsprofil gezielt abgestimmt sind. Hierbei besitzen aber Hohlprofile wegen ihrer geschlossenen Form den Vorteil, daß sich Korrosionsschutzmaßnahmen in der Regel nur auf die Außenflächen zu erstrecken brauchen, da nachweislich im Inneren luftdicht verschweißter Hohlprofile keine Rostbildung abläuft und damit kein Korrosionsschutz erforderlich ist /1/.

Im Stahlhochbau können wassergefüllte Stahlhochprofile als Teil des Brandschutzes eingesetzt werden /2/. In diesem Fall kann der Innenkorrosionsschutz problemlos durch den Einsatz anorganischer Inhibitoren gesichert werden.

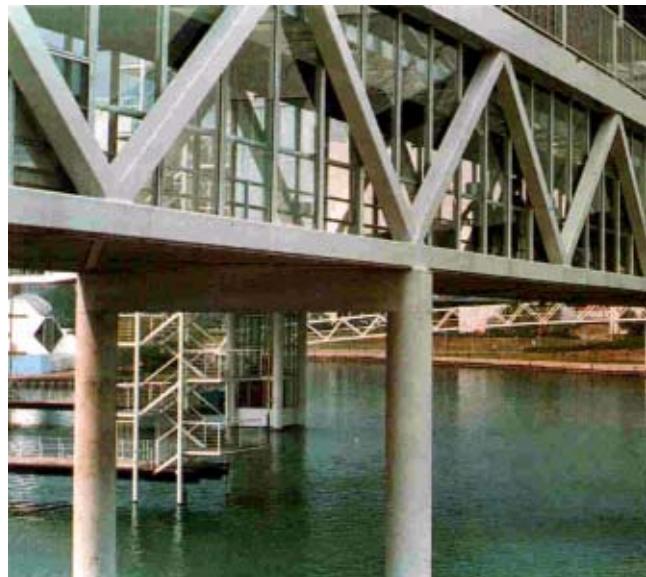
### Bild 1

Offene Binderdachkonstruktion einer Sporthalle aus kreisförmigen Hohlprofilen



### Bild 2

Stahlbaukonstruktion einer Fußgängerbrücke



### Bild 3

Stahlkonstruktion einer Passage



## 2. Korrosionsprobleme

Bei den Korrosionsbelastungen, denen Hohlprofile bei ihrem Einsatz ausgesetzt sind, kann man unterscheiden zwischen

- *atmosphärischer Korrosion in verschiedenen Klimaten:* Raumluft, Außenluft mit standortabhängigen Makroklimaten (Land-, Stadt-, Industrie-, Meeresklima) und einsatzbedingten Mikroklimaten (Klima unmittelbar am einzelnen Bauteil), und
- *Korrosion in Wässern (z.B. Meeresswasser) und Böden.* Dabei wir die Korrosionsbelastung in Böden denen in Wässern meist weitgehend ähneln. Sonderfälle liegen in schlechtbelüfteten Böden vor.

Im allgemeinen können Stahlbau Hohlprofile diesen Korrosionsbelastungen ohne geeignete Schutzmaßnahmen nicht in der geforderten Weise standhalten.

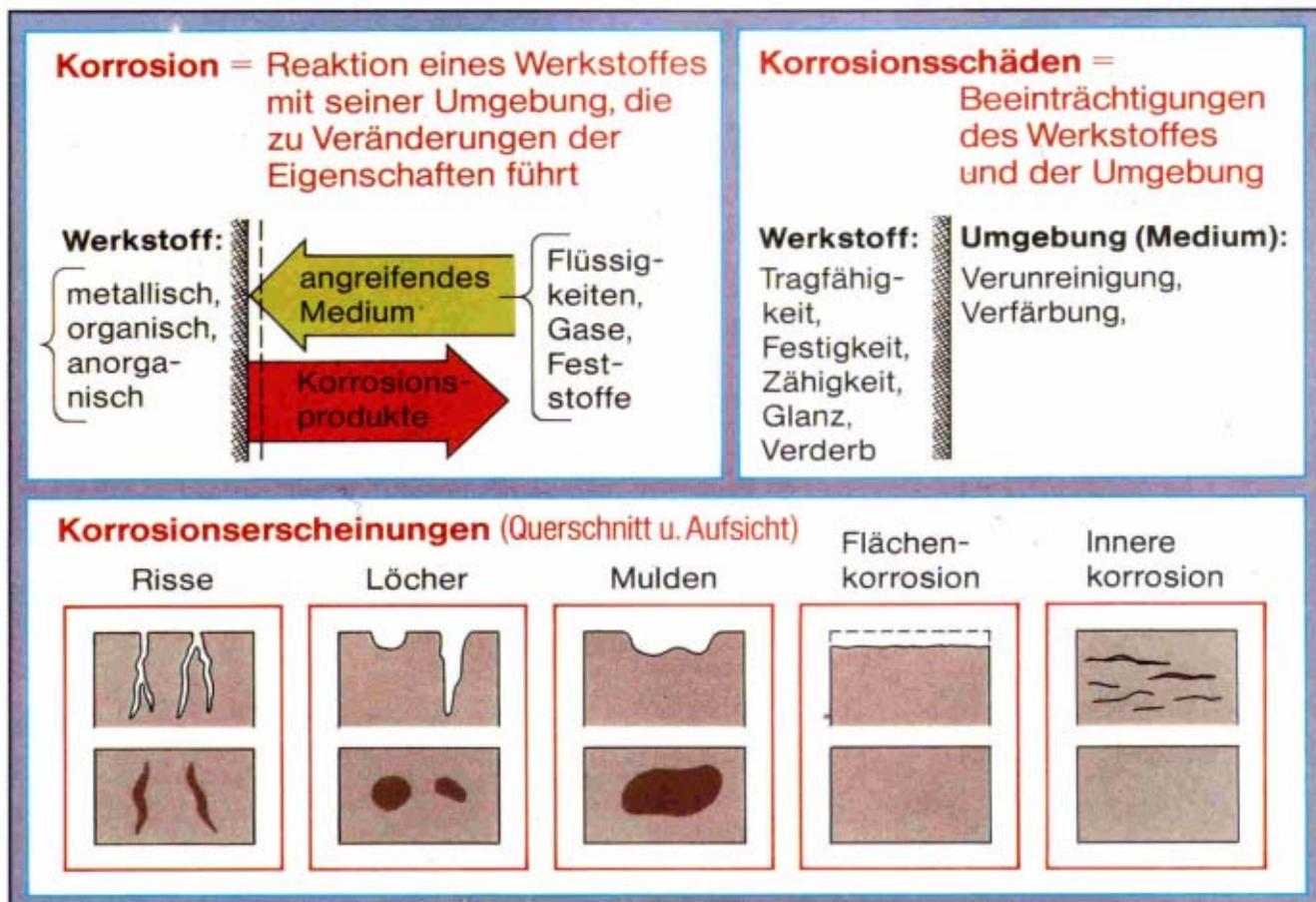
### 3. Korrosionsarten und Korrosionserscheinungsformen

Die atmosphärische Korrosion ist ein elektrochemischer Vorgang, der in einer dünnen Elektrolytschicht abläuft. Der Flüssigkeitsfilm bildet sich auf der Oberfläche aufgrund von Kondensationsvorgängen (Niederschlägen von Wasser aufgrund von Taupunktunterschreitung) oder Benetzungs-vorgängen (z.B. durch Regen) und kann durch Trock-nungs- (Verdampfungs)vorgänge wieder verschwinden.

Die wichtigsten korrosionsrelevanten Bestandteile der umgebenden Atmosphäre sind Wasser (Feuchtigkeit) Sauerstoff, Ozon, Kohlendioxid sowie ortabhängige Schad-stoffe wie Chloride, Schwefeldioxid, nitrose Gase, Schwefelwasserstoff, Ammoniak und unter Umständen sogar Chlorwasserstoff und Chlor. Ungeschützte Stahl-oberflächen beginnen an Luft bei Feuchtigkeiten oberhalb von 60% rel. Feuchte zu rosten. Die Angriffsgeschwin-digkeit kann durch die genannten gasförmigen, aber auch festen Verunreinigungen der Luft (z.B. Stäube) sehr stark beeinflußt werden. Besonders korrosionsfördernd sind Feststoffablagerungen an der Oberfläche, welche Feuchtigkeit absorbieren oder auf der Metallocberfläche adsorbieren. Neben Feuchtigkeit und Luftverunreinigungen muß auch die Temperatur als Beurteilungsgrundlage für den Korrosionsverlauf und die Auswahl einer geeigneten Korrosionsschutzmaßnahme herangezogen werden. Der relevante Temperaturbereich liegt zwischen -20 und +60°C; kurzfristig sind Werte zwischen -30° und +80°C möglich. Eine Charakterisierung verschiedener korrosiver Atmosphären ist in Normenwerken und einschlägiger Literatur erfolgt /3-5, 12/.

Bild 4

Korrosion. Korrosionsschäden. Korrosionserscheinungsformen /18/



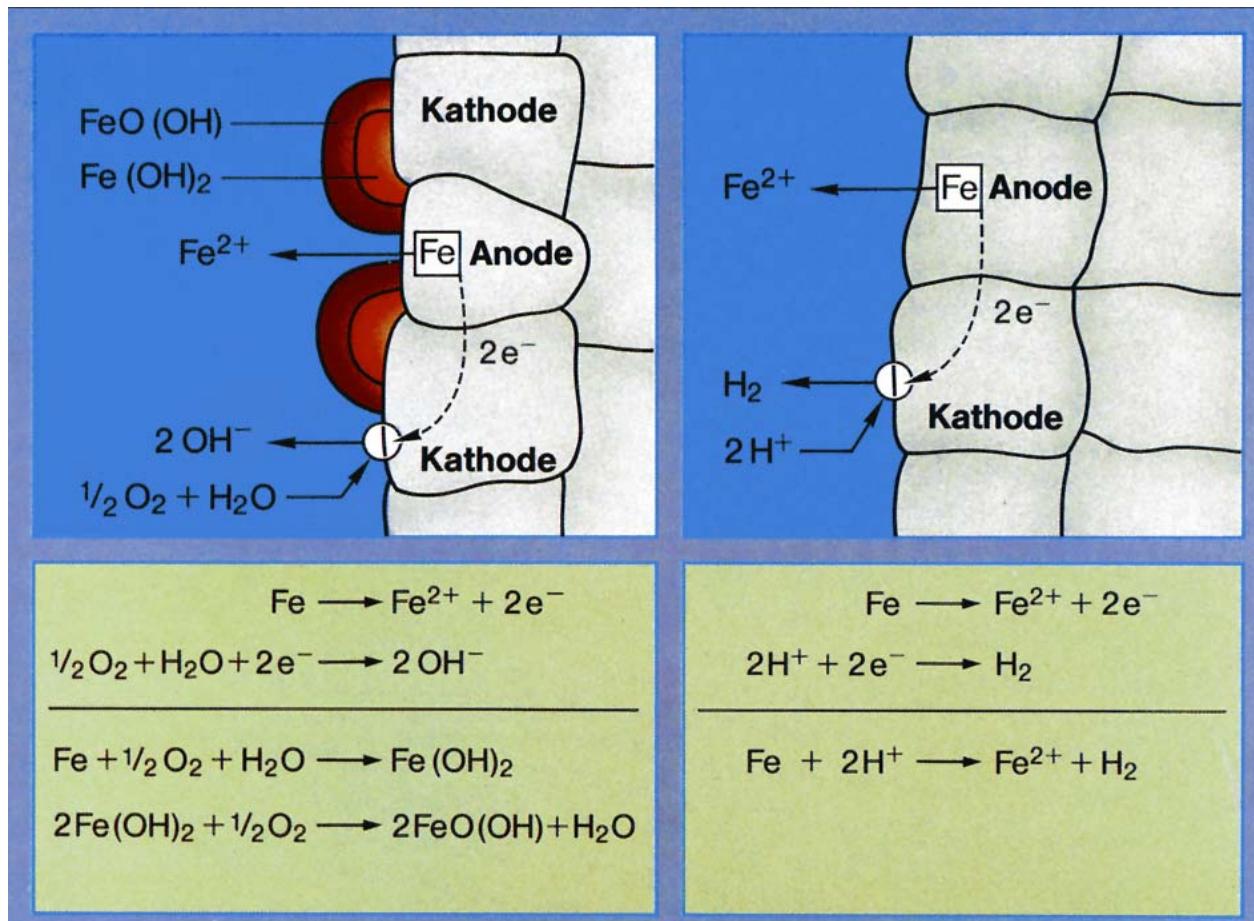
Ganz allgemein spricht man von Korrosion, wenn durch die Reaktion eines Werkstoffes mit seiner Umgebung eine Veränderung seiner Eigenschaften erfolgte (DIN 50900, /6-9/) (Bild 4). Diese Korrosionsreaktion führt dann, aber nur dann, zu einem Korrosionsschaden, wenn durch sie eine Beeinträchtigung der Funktion des Werkstoffes oder seiner Umgebung verbunden ist (Bild 4).

Bei der atmosphärischen Korrosion und der Korrosion in Wässern und Böden können eine Vielzahl unterschiedlicher Korrosionsarten und -erscheinungsformen auftreten (Bild 4). Welche Korrosionsart zum tragen kommt, wird durch das jeweilige Korrosionssystem Werkstoff/Medium bestimmt. Die Korrosionsreaktion ist elektrochemischer Natur (Bild 5). Bei der Korrosion von Eisen bzw. Stahl in wäßrigen Medien gehen Eisenatome an der Metallocberfläche unter Abgabe von 2 Elektronen im Sinne einer Metallauflösung in den ionogenen Zustand ( $Fe^{2+}$ ) über. Die abgegebenen Elektronen werden von Sauerstoff ( $O_2$ ) oder in (in Säuren) von Säureionen ( $H^+$ ) aufgenommen, wobei Hydroxylionen ( $OH^-$ , Lauge) bzw Wasserstoff ( $H_2$ ) entstehen.

Im ersten Fall spricht man von Sauerstoffkorrosion, im zweiten Fall von Säurekorrosion. Bei der Sauerstoffkorrosion setzen sich die primär gebildeten Eisenionen mit den Hydroxylionen in Gegenwart von Sauerstoff zu Rost ( $FeO[OH]$ ) um. Der Ort der Metallauflösung wird Anode, der der Elektronenaufnahme Kathode genannt. Eine Metallocberfläche kann aus mikroskopisch kleinen Anoden- und Kathodenbezirken bestehen.

Bild 5

Elektrochemische Reaktionen bei der Sauerstoff- bzw. Säurekorrosion /18/



Erfolgt die Metallauflösung auf der gesamten Metalloberfläche gleichmäßig, so spricht man von Flächenkorrosion. Besitzt die Metallauflösung örtlich unterschiedliche Geschwindigkeiten, liegt eine örtliche Korrosion vor. Eine Systematik der Arten örtlicher Korrosion gibt Bild 6. Mulden-, Loch-, Spalt-, und Belüftungskorrosion ergeben sich durch örtliche Konzentrationsunterschiede im Korrosionsmedium (Bild 7), insbesondere durch örtlich unterschiedliche Sauerstoffkonzentrationen. Kontakt unterschiedlicher Metalle kann zu Kontaktkorrosion führen, bei der das elektrochemisch unedlere Metall im Kontaktbereich örtlich stärker abgezehrt wird (Bild 8).

Inhomogenitäten an der Oberfläche, z.B. an Rissen in Oxidschichten, im Bereich von Einschlüssen, gesonderten Phasen sowie wärmebehandlungsbedingter Chromverarmung im Korngrenzenbereich von CrNi-Stählen führen zu selektivem Angriff mit interkristallinem Korrosionsfortschritt entlang der Korngrenzen oder transkristallin ohne Orientierung an den Korngrenzen. Statische und dynamische Zugbeanspruchungen können in korrosiven Medien von der Oberfläche ausgehende Rißbildung bewirken. Diffusion von aus kathodischen Korrosionsteilreaktionen stammendem Wasserstoff in den Stahl kann je nach Empfindlichkeit des Werkstoffs zu Wasserstoff-induzierten Innenrissen im Werkstoff führen (Bild 8).

Bild 6

Systematik der Korrosionsarten



Bild 7

Lokalkorrosion durch örtliche Konzentrationsunterschiede /18/

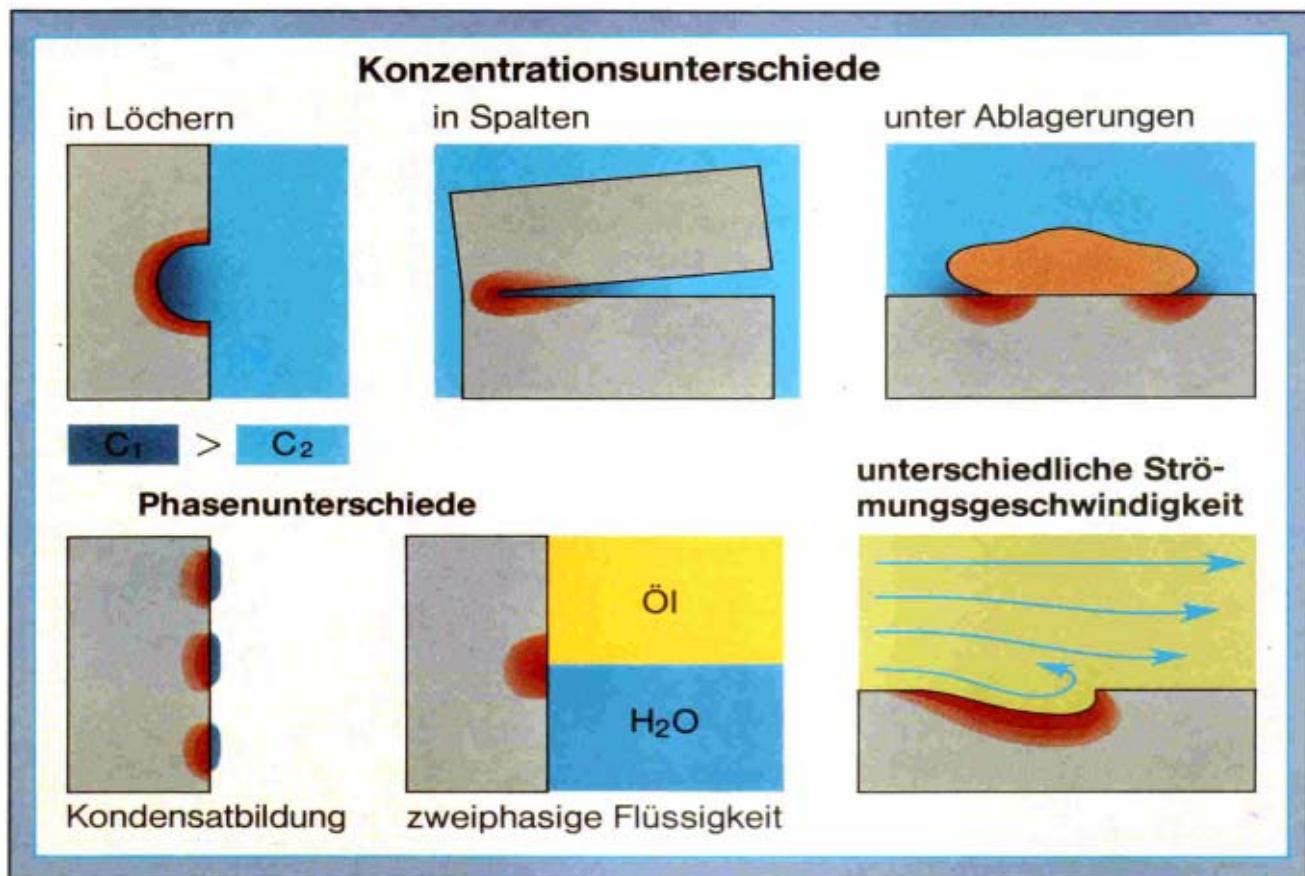
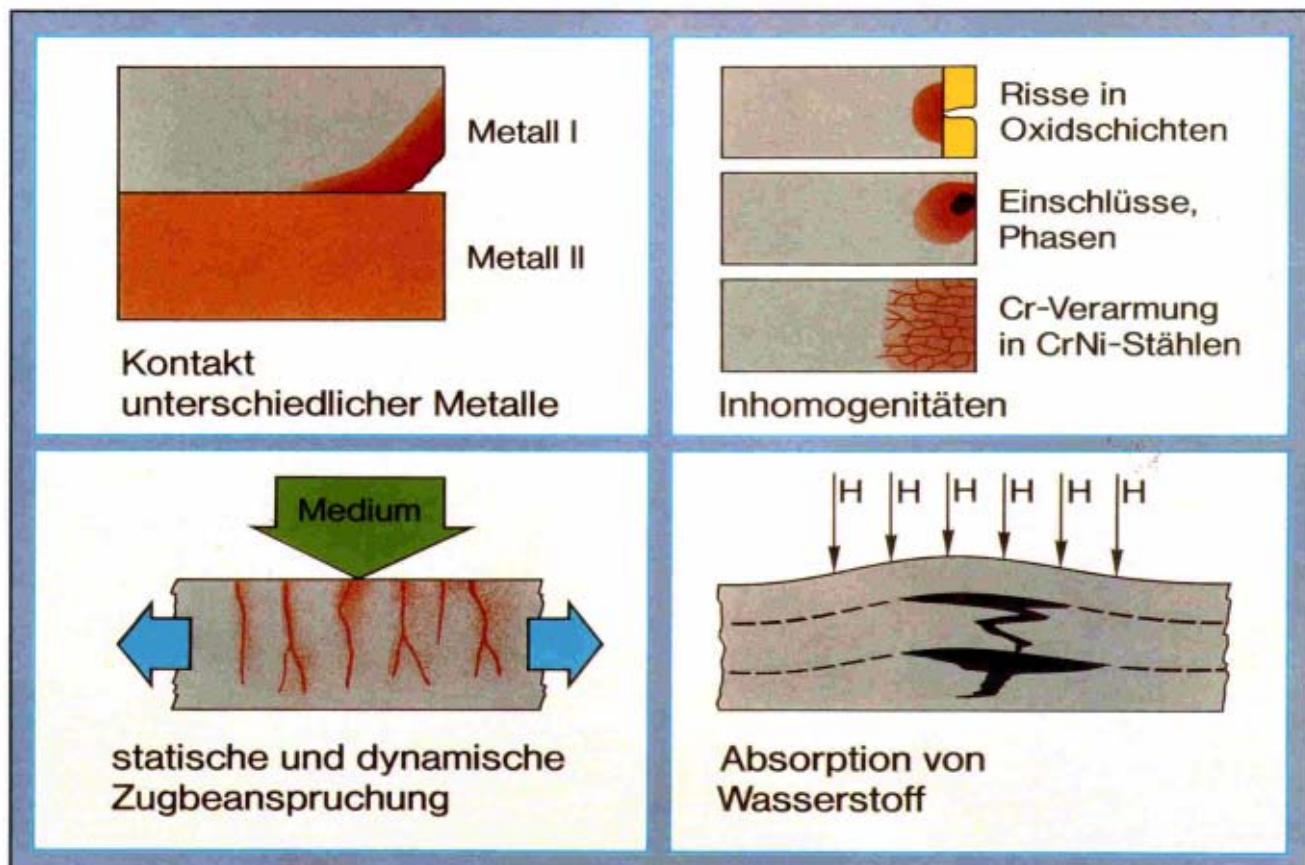


Bild 8

Lokalkorrosion durch werkstoffseitige Einflüsse /18/



#### 4. Korrosionsschutzmöglichkeiten

Korrosionsschutz ist grundsätzlich auf drei Wegen möglich:

- durch Beeinflussung der Eigenschaften der Reaktionspartner und/oder Änderung der Reaktionsbedingungen (Werkstoffauswahl, Mediumaufbereitung, konstruktive Maßnahmen)
- durch Trennen des Werkstoffs vom Korrosionsmedium (Aufbringen organischer und anorganischer Beschichtungen und metallischer Überzüge)
- durch elektrochemische Schutzmaßnahmen (Verschiebung des Korrosionspotentials in Bereiche technisch tragbarer Korrosionsgeschwindigkeiten: kathodischer bzw. anodischer Korrosionsschutz).

Beim Einsatz von Stahlprofilen ist die Werkstoffauswahl vorgegeben und eine Mediumaufbereitung (z.B. Absenkung der Luftfeuchtigkeit oder Entfernung von Sauerstoff) in der Regel nicht möglich. Dagegen können durch konstruktive Maßnahmen wichtige Beiträge zum Korrosionsschutz geliefert werden, insbesondere in Verbindung mit den Methoden gemäß b) und c).

Beim Korrosionsschutz von Hohlprofilen dominieren organische Beschichtungen und metallische Überzüge. Elektrochemische Schutzmaßnahmen sind nur in Anwesenheit wässriger Medien (z.B. Offshore-Anlagen und im Erdboden) anwendbar, nicht dagegen unter den Bedingungen der atmosphärischen Korrosion, da für den elektrochemischen Schutz die ständige Anwesenheit eines Elektrolyten Voraussetzung ist.

Korrosionsschutzmöglichkeiten durch

- metallische Überzüge
- organische Beschichtungen
- elektrochemische Polarisation oder
- konstruktive Maßnahmen

sollen daher im folgenden mit besonderer Berücksichtigung der Anwendung bei Hohlprofilen näher erörtert werden. In diesem Zusammenhang sei auf die DIN 55 928 „Korrosionsschutz von Stahlbauten durch Beschichtungen und Überzüge“ sowie die in den DIN-Taschenbüchern 143 und 168 zusammengestellten einschlägigen Normen, technischen Vorschriften, Verordnungen, Richtlinien und Merkblätter hingewiesen /10,11/.

#### 4.1 Metallische Überzüge

Von den metallischen Überzügen besitzen die Schmelztauchverzinkungen (Feuerverzinkungen) für den Korrosionsschutz von Hohlprofilen die größte Bedeutung. In Verbindung mit nachfolgender organischer Beschichtung sind auch elektrolytisch (galvanisch) abgeschiedene Zinküberzüge einsetzbar (DIN 55 928, Teil 5, /3,11/). Zunehmend gewinnen aber auch thermische Spritzüberzüge aus Zink oder Aluminium oder Kombinationen beider Metalle an Bedeutung. Aber auch hier ist eine nachfolgende Beschichtung anzuraten (Tabelle 1).

Die Schutzdauer dieser Metallüberzüge ist von der Art und Überzugsdicke sowie der Korrosionsbelastung abhängig /13/. In Industrie- und Meeresatmosphäre sind selbst die Schmelztauchverzinkungen mit Überzugsdicken von 50-100 µm nicht ausreichend beständig (Bild 9). In diesen Fällen ist auch bei Schmelztauchverzinkungen eine zusätzliche Beschichtung unbedingt erforderlich. Zinküberzüge bieten darüber hinaus den Vorteil, daß sie das Unterrostern

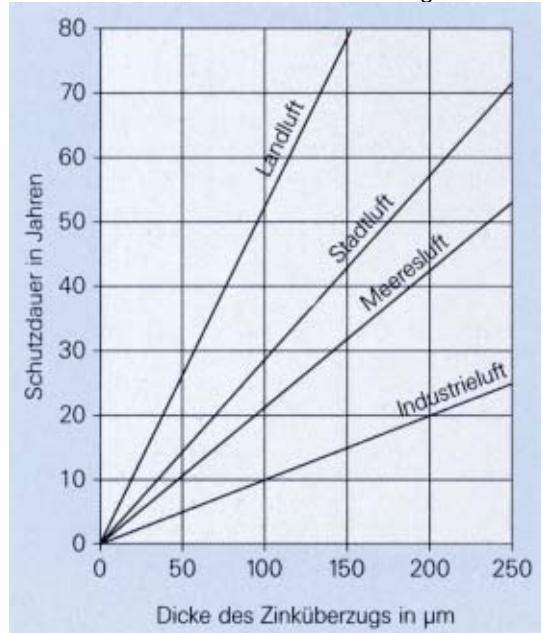
**Tabelle 1**

Korrosionsschutz von Stahlhohlprofilen durch Verzinken

Verfahren	<b>Übliche Dicke</b> des Überzugs bzw. der Be- schichtung (µm)	Legierung mit dem Untergrund	Aufbau und Zusammen- setzung des Über- zugs bzw. der Beschichtung	Verfahrens- technik	Nachbehandlung	
					üblich	möglich
<b>1. Überzüge</b>	50–150	ja	Eisen-Zinklegie- rungsschichten am Stahlunter- grund, in der Regel mit einer darüber- liegenden Zink- schicht	Eintauchen in flüssiges Zink	–	Beschichten
	50–100	ja	Überzug aus Zinktropfen mit Oxidhaut	Aufspritzen von geschmol- zenem Zink	–	Beschichten
	80–150	nein	Überzug aus Zinktropfen mit Oxidhaut	Aufspritzen von geschmol- zenem Zink	Versiegeln durch pene- trierende Beschichtung	Beschichten
	5–25	nein	lamellarer Überzug	Zinkabschei- dung durch elektr. Strom in wässrigem Elektrolyten	Chromatieren	Beschichten
<b>2. Beschichtungen</b> Zinkstaubbeschich- tungen	dünnsch. 10–20 normalsch. 40–80 dicksch. 60–120	nein	Zinkstaubpigment in Bindemittel	Auftragen durch Streichen, Rollen, Spritzen, Tauchen	Deckbeschich- tung auf Grund- beschichtung abgestimmt	–

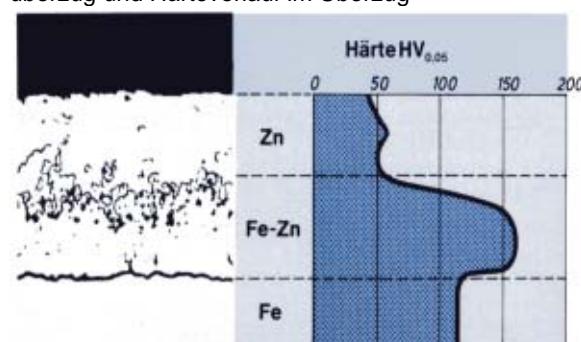
von Beschichtungen verhindern, was besonders bei tragenden dünnwandigen Bauteilen für die Erhaltung der Tragfähigkeit bedeutungsvoll ist. Solche „Duplex-Beschichtungen“ (Metallüberzug + organische Beschichtung) erhöhen die Lebensdauer des Korrosionsschutzes erheblich. Hierauf wird später noch genauer eingegangen.

**Bild 9**  
Schutzdauer von Schmelztauchüberzügen



**Feuerverzinkungen.** Schmelztauchverzinkungen werden durch Tauchen der zuvor entfetteten und gebeizten Bauteile in ein Bad mit flüssigem Zink bei Temperaturen um 460°C aufgebracht. Es entsteht ein porenfreier, glänzender Überzug, häufig mit ausgeprägtem Zinkblumenmuster. Den typischen Aufbau eines solchen Verzinkungsüberzugs zeigt Bild 10. Mit dem Stahlgrundmaterial besteht ein fester Verbund durch eine Eisen-Zinklegierungsschicht. An diese schließt sich eine Reinzinkphase an.

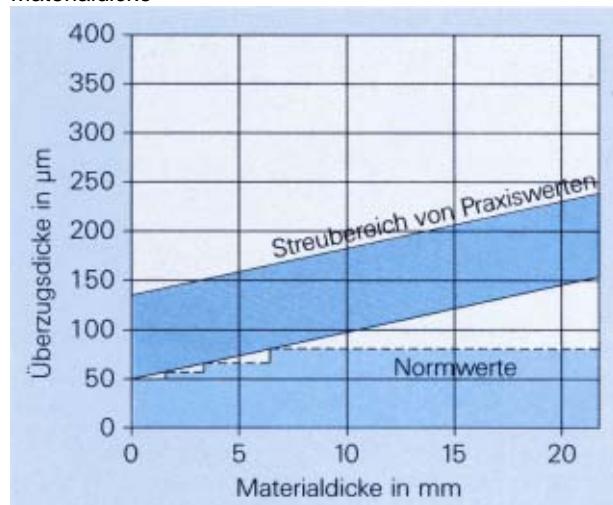
**Bild 10**  
Querschliff durch einen üblichen Schmelztauchzinküberzug und Härteverlauf im Überzug



Die Mindestüberzugsdicke, die je nach Materialdicke bei der Stückverzinkung zu fordern ist, wird in der DIN 50976 angegeben. Bei Materialdicken bis 6 mm liegen die Normwerte bei 50-90 µm entsprechend einer Zinkauflage von etwa 350-630 g/m<sup>2</sup> (Umrechnungsfaktor ca. 7). In der Praxis entstehen jedoch materialbedingt meist um den Faktor 2-3 höhere Zinkauflagen (Bild 11). An Ecken und

**Bild 11**

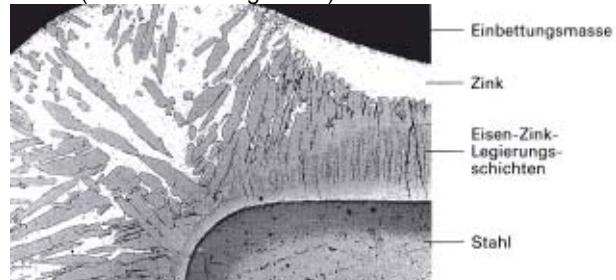
Technisch übliche Dicke von Schmelztauchüberzügen im Vergleich zu den Normwerten in Abhängigkeit von der Materialdicke



Kanten ist die Überzugsdicke stets etwas größer als auf den Flächen (Bild 12), ein korrosionschemisch durchaus günstiger Sachverhalt. Schmelztauchüberzüge können nur in Spezialbetrieben aufgebracht werden. Die Größe der vorhandenen Bäder begrenzt die Abmessungen der zu tauchenden Bauteile

**Bild 12**

Querschliff durch einen Schmelztauchzinküberzug an einer Kante (höhere Überzugsdicke)



**Thermische Spritzüberzüge.** Im Gegensatz zu Schmelztauchmetallisierungen können Überzüge aus Zink und/oder Aluminium durch thermisches Spritzen außer in der Werkstatt auch direkt an der Baustelle erzeugt werden. Dabei besteht prinzipiell keine Beschränkung in der Größe der zu behandelnden Fläche. Beim thermischen Spritzen wird das Spritzmetall in Drahtform in einer Spritzpistole entweder in eine Acetylen-Sauerstoff-Flamme oder in einen elektrischen Lichtbogen geführt. Das abschmelzende Metall wird mit Druckluft zerstäubt und vom Luftstrahl auf die Stahloberfläche geschieudert, wo die Tröpfchen zu einem Überzug teilverschmelzen. Zur Oberflächenrauheit ist ein Strahlen bis zum Normreinheitsgrad Sa 3 nach DIN 55 928, Teil 4 unerlässlich (siehe DIN 8567). Bei der Ausführung ist DIN 8565 zu beachten.

Thermische Spritzüberzüge, deren Dicke üblicherweise bei 80-150 µm liegen, haben grundsätzlich eine porige Beschaffenheit. Zum Schutz gegen atmosphärische Belastungen ist daher das nachträgliche Aufbringen eines Beschichtungssystems unerlässlich. Für die Grundbeschichtung, die möglichst unmittelbar nach dem Metallspritzen aufgebracht werden sollte, eignen sich bevorzugt gut penetrierende Beschichtungsstoffe. Zusätzliche Beschichtungen erhöhen die Schutzwirkung wesentlich.

**Elektrolytische Zinküberzüge.** Durch Tauchen in ein elektrolytisches Verzinkungsbad und Anlegen einer geeigneten Spannung wird unter Gleichstrombedingungen ein „galvanischer“ Zinküberzug erzeugt. Hierbei ist die DIN 50 961 zu beachten. Je nach Einsatzbereich liegen die Überzugsdicken zwischen 5 und 25 µm. Elektrolytische Zinküberzüge können nur im Galvanikbetrieb aufgebracht werden. Zur Verbesserung des Korrosionsschutzes wird die galvanische Verzinkung häufig nach DIN 50 941 chromatiert. Die Chromatierung ist ein temporärer Korrosionsschutz zur Verhinderung der Weißrostbildung. Dauerhafter Schutz erzielt man jedoch durch nachträgliche Beschichtung. In diesem Fall wird der Zinküberzug zur Verbesserung der Haftung zuvor phosphatiert. Diese Vorbehandlungsmethode wird auch für Schmelztauchverzinkungen angewendet.

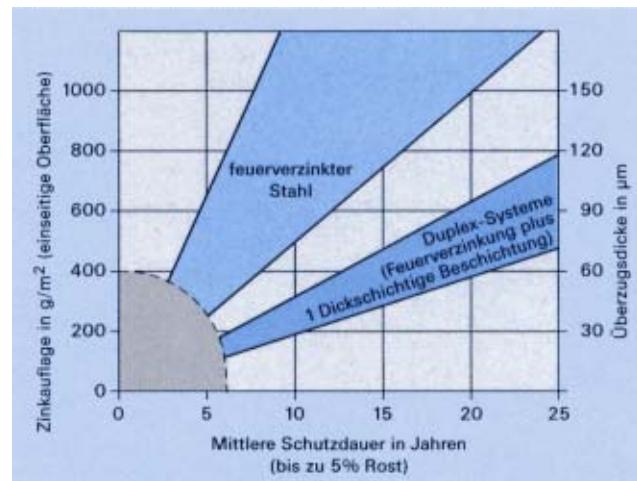
**Duplex-Beschichtungen /14-16/.** Die Korrosionsschutzdauer von Metallüberzügen kann durch zusätzliche organische Beschichtungen wesentlich verlängert werden. (Tabelle 2 u. 3), wobei die Gesamtschutzdauer größer ist als die Summe der jeweiligen Schutzeiten des Metallüberzugs und der Beschichtung (Faktor 1,2 bis 2,5) (Bild 13). Stoff und Schichtdicke der Beschichtung müssen stets auf die erwartete Korrosionsbelastung abgestimmt werden. Grundvoraussetzung für die sinnvolle Anwendung einer Duplexbeschichtung ist die ausreichende Haftung zwischen Metallüberzug und Beschichtung. Hierbei spielt die Oberflächenvorbereitung (vergl. DIN 55 928, Teil 4) die ausschlaggebende Rolle, die besonders bei bereits bewitterten Metallüberzügen sehr aufwendig werden kann. Daher ist im allgemeinen ein möglichst frühzeitiges Beschichten am wirtschaftlichsten. Hinweise über eine korrosionsschutzgerechte Beschichtung von durch Feuerzinkung, elektrolytische Verzinkung und thermischer Verzinkung entstandenen Metallüberzügen gibt DIN 55 928 Teil 5. Hier finden sich auch Beispiele von bewährten Korrosionsschutzsystemen aus Metallüberzügen und/oder Beschichtungen auf Basis speziell modifizierter Akydharze, von Vinylchlorid-Copolymerisaten, Epoxidharzen, Polyurethanharzen, Acrylharzen, Bitumen, Bitumen-Öl-Kombinationen, Teer- bzw.

**Bild 14**  
Beschichtungsaufbau auf Stahl und feuerverzinktem Stahl



**Bild 13**

Vergleich der Korrosionsschutzwirkung durch Feuerverzinkung und Duplex-Systeme in Industriearmosphäre



Teerpech-Epoxidharzen und Teerpech-Polyurethanharzen (Tabelle 4). Die Dicken der Beschichtungen liegen zwischen 70 und 360 µm (bei Mehrschichtsystemen). Damit ergeben sich für die Gesamtsystemschichtdicken Werte zwischen 150 und 440 µm (als Trockenschichtdicken) (Bild 14).

Die Haftung auf Zinküberzügen wird neben einer sorgfältigen Oberflächenvorbereitung und auch durch die Auswahl geeigneter Bindemittel und/oder Pigmente erreicht. Duplexbeschichtungen aus Metallüberzug und Beschichtungen sind aus Gründen des Korrosionsschutzes überall dort anzuwenden,

- wo Bauteile trotz korrosiver Atmosphäre über lange Zeiträume vor Korrosion geschützt werden müssen,
- wo eine gegebene Zinküberzugsdicke zu gering für die vorgesehene Nutzungsdauer ist,
- wo konstruktionsbedingt während der gesamten Nutzungsdauer des Objektes eine Nachbesserung nicht möglich ist,
- wo Kontaktkorrosion vermieden werden soll

**Tabelle 2**

Korrosionsschutzeigenschaften von Beschichtungen auf feuerverzinktem Stahl und auf Stahl

	Feuerverzinkter Stahl	Stahl
Korrosionsverhalten	1/5 bis 1/10 der Korrosion des unverzinkten Stahls	Korrosionsanfällig
Vorbereitung bei Wiederholungsbeschichtung	Mechanische Entfernung der alten Beschichtung, im allgem. keine Entrostung	In der Regel Entrostung (möglichst Strahlentrostung)
Zeitpunkt für die Wiederholungsbeschichtung	Nicht genau festgelegt, da die Zinkschicht als Schutzschicht bis zum Auftrag der neuen Beschichtung wirkt	Nach dem Abbau der alten Beschichtung oder an beschädigten Stellen
Verhalten an beschädigten oder mangelhaften Beschichtungen	Beschädigte Stellen und kleine Flächen werden von Zinkkorrosionsprodukten versiegelt, es entsteht kein Rost	Schnelles Rosten der beschädigten Stellen, es muß sofort ausgebessert werden

**Tabelle 3**

Verhalten von Beschichtungen auf Stahl und auf feuerverzinktem Stahl bei der Bewitterung in Anlehnung an J. F. H. van Eijnsbergen -

Phase Stahl	Feuerverzinkter Stahl	
0	Beschichtung völlig intakt	
1	Glanzverlust, Verschmutzung	
2	Bildung von Rissen und Mikroporen, durch die Wasser, Sauerstoff, Schwefeldioxid, Chloride, u. a. diffundieren können.	
3	Stahl wird angegriffen. Unterrostung, nicht oder kaum sichtbar.	Die Reinzinkschicht der Feuerverzinkung wird angegriffen, die sich hierbei bildenden Korrosionsprodukte des Zinks dichten Risse und Mikroporen in der Regel ab.
4	Weitergehende Unterrostung, örtliche Abhebung der Beschichtung, hierdurch Beschleunigung der Korrosion.  Beschichtungsausbesserung erforderlich.	Weitergehende Abdichtung durch die sich bildenden Korrosionsprodukte des Zinks.  Beschichtung intakt.
5	Beschichtung verwittert weiter, blättert durch Unterrostung ab; Verbreitung und Beschleunigung der Rostbildung.	Beschichtung verwittert weiter, blättert jedoch nicht ab. An dünnen Stellen der Beschichtung übernimmt die Feuerverzinkung den Korrosionsschutz.
	Der Schutzwert des Korrosionsschutzes ist praktisch auf null abgesunken.	Der Schutzwert des Korrosionsschutzes ist trotzdem gewährleistet.
6	Die Stahloberfläche ist vollkommen verrostet, die Beschichtung ist nur noch an wenigen Stellen vorhanden.	Die Beschichtung ist an einzelnen Stellen stark verwittert. An Stellen ohne Beschichtung schützt die Feuerverzinkung. Keine Rostbildung, die Stahloberfläche ist nicht angegriffen.
7	Lokale narbenförmige Korrosion der Stahloberfläche, Ablagerungen von Korrosionsstimulatoren in der Grenzzone hierdurch geringerer Schutzwert nachfolgender neuer Beschichtungen. Optimale Oberflächenvorbehandlung, Strahlentrostung erforderlich.	Die Beschichtung ist an vielen Stellen sehr stark verwittert. Die freigelegte Zinkoberfläche korrodiert gleichmäßig ohne narbenförmige Korrosion. Es bilden sich einzelne Rostpunkte. Die gebildeten Zinkkorrosionsprodukte haben in der Regel keinen nachteiligen Einfluß auf den Schutzwert nachfolgender Beschichtung. Wenn weniger als 5 % der Stahloberfläche verrostet sind, kann eine neue Beschichtung nach einer einfachen Oberflächenvorbereitung (Abbürsten o. ä.) aufgebracht werden.

#### 4.2 Organische Beschichtungen

Unter Beschichten versteht man das Aufbringen von organischen Beschichtungsstoffen in flüssiger, pulveriger oder pastöser Form in einem oder mehreren Arbeitsschritten. Dabei entstehen entweder Dünnbeschichtungen (Schichtdicken bis ca. 1 mm) oder Dickbeschichtungen (Schichtdicke bis zu mehreren Millimetern). Für den Korrosionsschutz von Hohlprofilen sind vor allem Lack- und Pulverbeschichtungen wichtig.

Lackbeschichtungen werden nach dem Auftragen durch Streichen, Rollen, Tauchen bzw. Fluten und Spritzen entweder katalytisch oder thermisch gehärtet. Katalytisch, bzw. kalt härtende Beschichtungen werden meist auf Basis Epoxidharz (EP), ungesättigtem Polyesterharz (UP), Vinyl-esterharz – neuerdings normgemäß als Phenacrylharz bezeichnet – und Polyurethanharz (PUR) mit Schichtdicken von 150 bis 800 µm und mehr hergestellt. Zur Reduzierung der Kosten und Erhöhung der Wasserbeständigkeit können EP- und PUR-Systeme auch mit speziellen Steinkohlen-

**Tabelle 4**

Beispiele von Korrosionsschutzsystemen aus Metallüberzügen und Beschichtungen (Duplex-Systeme) auf Stahlbauten  
[Auszug aus DIN 55 928 Teil 5\*] (ausgenommen tragende dünnwandige Bauteile)

DICK Dickbeschichtung  
X empfohlene Ausführung

0 bei vergleichsweise geringer Beanspruchung  
ohne Angabe: keine Festlegung

Schutzsystem-Kennzahl	Metallüberzug Verfahren/Art	Schichtdicke µm	Bindemittel	Beschichtungen		Gesamt-System-Solfschicht-dicke µm <sup>1)</sup>	Beanspruchungen nach DIN 55 928 Teil 1				Sonderbeanspruchungen	Bemerkungen
				Anzahl	Solfschicht-dicke insgesamt µm		L	S	I	M		
7-11.6	Feuerverzinkung DIN 50 976	80 (bei Blechdicken < 3 mm)	Speziell modifiziertes Alkydharz	1	110	190	x	x			DICK Einschichter	
7-11.7				2	80	160	x	x				
7-12.2			Bitumen-Öl-Kombination	2	140	220		x	x	x	DICK	
7-20.4			Vinylchlorid-Copolymerisat <sup>2)</sup>	1	110	190	x	x			DICK Einschichter	
7-20.5				2	70	150	x					
7-20.6				2	160	240		x	x	x	DICK	
7-20.7				3	105	185		x	x	x		
7-20.8				3	240	320				x	DICK	
7-20.9			Vinylchlorid-Copolymerisat-Dispersion	2	70	150	x					
7-30.6			Epoxidharz; Polyurethan	1	90	170 <sup>3)</sup>		x	x	x	0	DICK
7-30.7				2	100	180	x	x			DICK	
7-30.8				3	150	230		x	x	x		
7-30.9				2	160	240		x	x	x		
7-31.3			Teer-/Teerpech-Epoxidharz	2	240	320		x	x	x		
7-31.4			Teer-/Teerpech-Polyurethan	3	360	440				x		
7-40.2			Bitumen, gefüllt	2	160	240	x	x	x	x		
7-41.2			Steinkohlenteerpech, gefüllt	2	160	240	x	x	x	x		
7-51.1			Acrylharz	2	80	160	x	x				
7-51.2			Acrylharz-Dispersion	2	80	160	x	x				
	Thermisch gespritzter Zinküberzug nach DIN 8565	100	GB und DB nach Tabelle 6 bzw. 8, Schutzsystem-Kennzahl jedoch mit Zusatz „Zn“ zu versehen. Beachte Abschnitt 4.2.2.									
	Thermisch gespritzter Aluminiumüberzug nach DIN 8565	120	GB und DB nach Tabelle 6 bzw. 8, Schutzsystem-Kennzahl jedoch mit Zusatz „Al“ zu versehen. Beachte Abschnitt 4.2.2.									

<sup>1)</sup> Unter Berücksichtigung einer angenommenen Dicke des Metallüberzuges von 80 µm. In der Praxis sollte die Dicke der Beschichtung aus der Naßschichtdicke mit entsprechendem Umrechnungsfaktor ermittelt werden.

<sup>2)</sup> Auch mit Vinylchlorid-Copolymerisat-Kombination möglich.

<sup>3)</sup> Anwendung nur bei Epoxidharz im Werk automatisch aufgebracht und mit Wärmetrocknung.

\*\*Auszugsweise Wiedergabe mit Erlaubnis des DIN Deutsches Institut für Normung e.V. Maßgebend für das Anwenden der Norm ist deren Fassung mit dem nächsten Ausgabedatum, die bei der Beuth Verlag GmbH, 1000 Berlin 30 und 5000 Köln 1, erhältlich ist.“

teeren (Teer, Teerpech, etc.) modifiziert werden. Katalytisch härtende Beschichtungen lassen sich sowohl in der Werkstatt als auch auf der Baustelle ohne Einschränkung der Größe der zu beschichtenden Bauteile applizieren. Dies ist bei warmhärtenden Beschichtungsstoffen, den sogen. Einbrennlacken, in der Regel nicht der Fall, da sie nach dem Aufbringen (Tauchen, Spritzen) noch durch eine Wärmebehandlung zwischen 160 und 210°C ausgehärtet werden müssen, was zweckmäßig in entsprechenden Öfen im Beschichtungsbetrieb erfolgen sollte. Einbrennlackierungen auf Basis Phenolharz (PF), Epoxidharz (EP) sowie EP/PF-Kombinationen zeichnen sich durch eine große Lösungsmittel- und Säurebeständigkeit aus und haben sich vorzugsweise als Rohrinnenbeschichtung (120-300 µm Dicke, meist als Mehrlagenbeschichtung) bewährt.

Beim Pulverbeschichten wird der zu verarbeitende Kunststoff in Pulverform nach verschiedenen Verfahren (Schleuderverfahren, Wirbelsintern, Flammspritzen, elektrostatisches Spritzen) auf die 200-400°C heiße zu beschichtende Oberfläche aufgetragen und durch anschließende Wärmebehandlung zu einem porenenfreien, in der Regel 0,1 bis 1,5 mm dicken Film verschmolzen. Die Ausgangspulver können aus Polyvinylchlorid (PVC, Polyethylen (PE), Polyester, Fluorkunststoffe (PVDF, E-CTFE, PTFE), Polyamid, Ethylen-Vinylalkohol-Polymerisat (EVAL) und Acrylat-

Die Korrosionsschutzwirkung einer organischen Beschichtung für den Grundwerkstoff resultiert primär aus ihrer Eigenschaft als Trennschicht zwischen dem Werkstoff und dem angreifenden Medium. Die Barrierewirkung der Beschichtung hängt dabei davon ab, wie gut sie die korrosionsbestimmenden Bestandteile, insbesondere Wasser, Luft und Salzbestandteile (Ionen), an ihrem Vordringen zur Stahloberfläche hindert. Dabei führt – grob vereinfacht dargestellt – der Transport von Wasser durch die Beschichtung zu Enthaftungsvorgängen (Blasenbildung, Schichtabhebungen, Unterwanderungen), die Diffusion von Sauerstoff aus der Luft zum Fortschreiten der Korrosionsreaktion und die Wanderung von Ionen durch die Beschichtung zur Zunahme der Korrosionsintensität.

In diesem Zusammenhang ist grundsätzlich festzustellen, daß alle organischen Beschichtungen mehr oder weniger durchlässig für Wasser und Sauerstoff sowie andere Gase sind. Mit zunehmendem Wassergehalt nimmt auch die Durchlässigkeit für Ionen zu.

Korrosionsschäden an organisch beschichteten Bauteilen können durch Ungänzen in der Beschichtung (z.B. durch mechanische Verletzungen oder chemische, thermische oder strahlungsinduzierte Abbaureaktionen [Alterung, Degradation] im Polymerwerkstoff) oder durch Korrosionsreaktionen an der Phasengrenze Metall/Beschichtung ent-

stehen, die sowohl bei verletzter als auch bei äußerlich unverletzter Beschichtung auftreten können. Bild 15 zeigt die möglichen Korrosionsvorgänge schematisch.

Höhere Trockenfilmdicke, Zusätze von korrosionsschutzaktiven Pigmenten und von Stoffen, welche den oxidativen Abbau (Degradation) des Beschichtungsstoffes (Bindemittel) hemmen, sowie – soweit möglich – elektrochemische Schutzmaßnahmen können die Korrosionsschutzwirkung von organischen Beschichtungen verbessern.

Natürlich besitzt auch die Haftung der Beschichtung größte Bedeutung. Dies bedeutet vor der Beschichtung eine sehr sorgfältige Oberflächenvorbereitung, die je nach Gegebenheiten auch sehr aufwendig sein kann. In der Praxis sind hier Strahltechniken mit festen Partikeln sowie Flammstrahltechniken von Bedeutung.

Korrosionsschutzbeschichtungen werden in verschiedenen Arbeitsgängen stets mehrlagig aufgetragen. (vergl. Bild 14). Der Schichtaufbau besteht üblicherweise aus zwei Grund- und zwei Deckbeschichtungen. Die Grundbeschichtungen enthalten aktive Korrosionsschutzpigmente (heute meist Zinkstaub und Zinkphosphat; die ansonsten äußerst wirksamen Pigmente Bleimennige und Zinkchromat werden aus Umweltschutzgründen bei Neubeschichtungen praktisch nicht mehr verwendet). Für den Transport, die Lagerung und Verarbeitung werden häufig sogen. Fertigungsbeschichtungen (Shop Primer) aufgetragen. Die 15–25 µm dicken Fertigungsbeschichtungen gelten im allgemeinen nicht als Grundbeschichtungen, allenfalls als Teil einer Grundbeschichtung (DIN 55 928, Teil 5). Üblich sind Eisenoxidrot-Beschichtungen sowie Zinkstaubbeschichtungsstoffe.

Die Deckbeschichtungen haben die Aufgabe, die Grundbeschichtungen vor Witterungseinflüssen zu schützen. Die organischen Anteile der Beschichtungsstoffe, die sogen. Bindemittel (Bild 16), können aus der Gruppe der Alkyd-

harze (oxidative Aushärtung/Trocknung), der wasserverdünnbaren Acrylharze oder Vinylchlorid-Copolymerisate (physikalische Trocknung) oder der Polyurethanharze (Reaktionshärtung eines Zweikomponentensystems) stammen. Im Stahlwasserbau spielen besonders auch bituminöse Bindemittel eine Rolle. Außerdem werden noch Ethylsilikat und Silikone als Bindemittel eingesetzt.

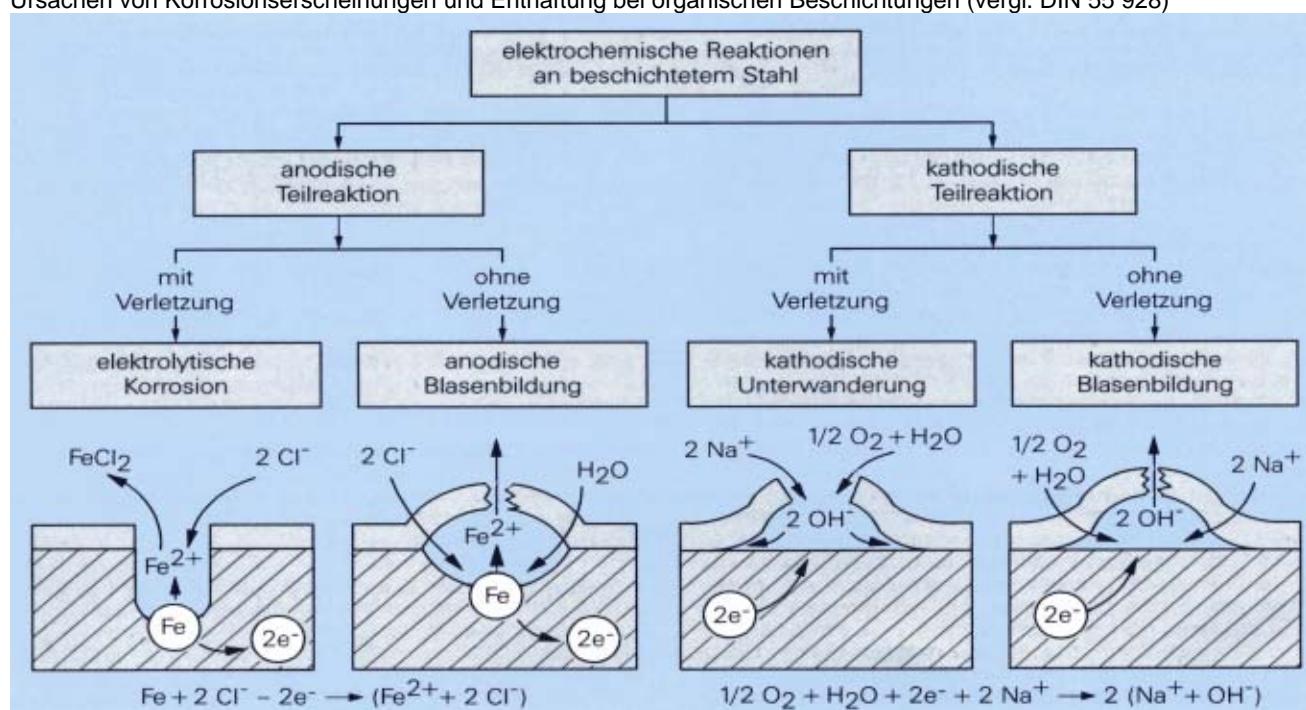
Korrosionsschutzsysteme auf Basis von Duplex-Verfahren (Feuerverzinkung + organische Beschichtung) stellen heute das Optimum an Korrosionsschutzausrüstung von Stahloberflächen gegenüber atmosphärischen Belastungen dar. Es ist übliche Praxis, feuerverzinkte und mit einer Grundbeschichtung versehene Bauteile zur gewünschten Konstruktion zusammenzusetzen und dann anschließend mit ein bis zwei in der Regel farbigen Deckbeschichtungen zu versehen.

**Bild 16**  
Aufbau einer Beschichtung



**Bild 15**

Ursachen von Korrosionserscheinungen und Enthaftung bei organischen Beschichtungen (vergl. DIN 55 928)



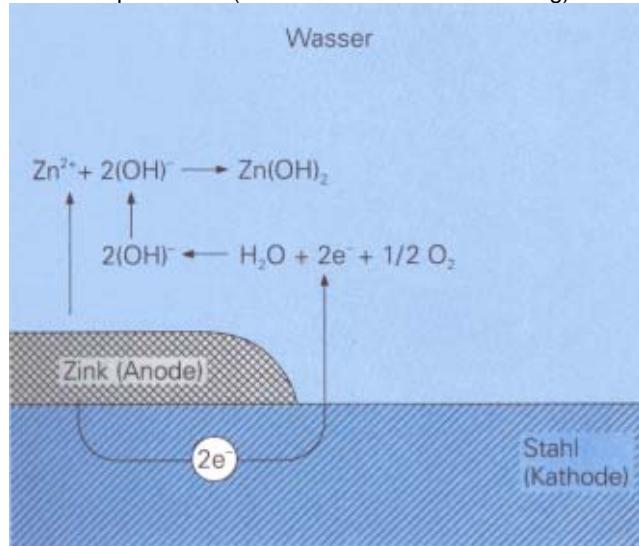
### 4.3 Elektrochemischer Korrosionsschutz

Während Überzüge und Beschichtungen zu den passiven Schutzverfahren gehören, stellt der elektrochemische Korrosionsschutz eine aktive Schutzmaßnahme dar, bei der die zu schützende Oberfläche durch von außen zugeführten Gleichstrom (Schutzstrom) in einen Potentialbereich polarisiert wird, bei dem die Korrosionsgeschwindigkeit technisch akzeptable Größenordnungen besitzt. Wird dabei das zu schützende Objekt zur Kathode gemacht, (Verbinden mit dem negativen Pol einer technischen Stromquelle, z.B. eines Gleichrichters), spricht man vom kathodischen Schutz. Die kathodische Polarisation kann außer durch von außen zugeführte Gleichströme auch durch Kontakt mit Metallen erreicht werden, die im betrachteten Medium ein negativeres („unedleres“) Korrosionspotential als das zu schützende Objekt haben.

Dieser Fall ist z.B. bei verzinkten Stahlbauteilen gegeben (Bild 17). Hier hat der Zinküberzug ein negativeres Potential als das Stahlgrundmaterial. Das Zink wird in diesem Kontaktelement zur (Opfer-)Anode und löst sich bei gleichzeitigem Schutz ggf. freiliegender Stahloberfläche langsam auf. Ist kein Zinküberzug vorhanden oder würde das Reservoir der Überzugsmenge für einen geplanten Schutzzeitraum nicht ausreichen, verbindet man das zu schützende Objekt auch mit größeren Massen unedler Metalle, die als Opferanoden wirken.

**Bild 17**

Zink als Opferanode (elektrochemische Betrachtung)



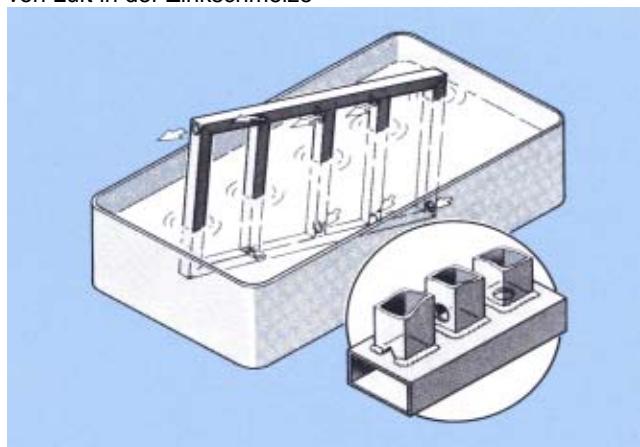
Die Anwendung des elektrochemischen Schutzes setzt grundsätzlich die ständige Anwesenheit eines Elektrolyten voraus. Er ist daher besonders zum Schutze von erd- oder meerwasserverlegten Stahlkonstruktionen geeignet. Da diese in der Regel durch Beschichtungen einen isolierenden Korrosionsschutz besitzen, wird in der Praxis nur ein sehr geringer Schutzstrom benötigt, da nur Poren oder Verletzungen in der Beschichtung geschützt werden müssen. Bei Anwendung galvanischer Opferanoden verwendet man an erdverlegten Stahlkonstruktionen Magnesiumlegierungen, bei Meerwasserkontakt Zink als Anoden. Bei Fremdstromschutzanlagen dienen Siliciumgußeisen (FeSi), Graphit oder Magnetit ( $Fe_3O_4$ ) als Anodenmaterial, das nur im untergeordneten Maße verbraucht wird. Der kathodische Schutz gehört heute zum Stand der Technik beim Korrosionsschutz erdverlegter oder meerwasserbeaufschlagter Anlagen. Ohne ihn wäre z.B. ein sicherer Betrieb von Pipelines, Offshore-, Bohr-, und Förderplattformen nicht denkbar. Wo möglich und sinnvoll wird ein auch vom ökonomischen Standpunkt optimaler Korrosionsschutz

### 4.4 Konstruktive Maßnahmen

Bei der Konstruktion von Stahlbauten ist stets dafür Sorge zu tragen, daß die Oberfläche an jeder Stelle optimal mit einem Korrosionsschutz versehen werden kann. Bei Schmelzauchverzinkungen sind z.B. geeignete Bohrungen und Öffnungen anzubringen bzw. vorzusehen, damit die Verzinkung nicht durch Luftblasen örtlich verhindert wird und das überschüssige Zink gut abfließen kann (Bild 18, Tabelle 5). Bei organischen Beschichtungen muß darauf geachtet werden, daß die gesamte Oberfläche gut zugänglich ist. Dies hat besondere Bedeutung für Reparaturbeschichtungen. Weiterhin dürfen sich keine Wasser- oder Feuchtigkeitsansammlungen auf der Oberfläche bilden, z.B. in nach oben offenen Profilen oder in Spalten an Verbindungspunkten. Dies sind Orte bevorzugten Korrosionsangriffs.

**Bild 18**

Öffnungen an Rohrkonstruktionen zum Entweichen von Luft in der Zinkschmelze



**Tabelle 5**

Anhaltswerte für die Größe von Öffnungen in Rohrkonstruktionen mittlerer Größe

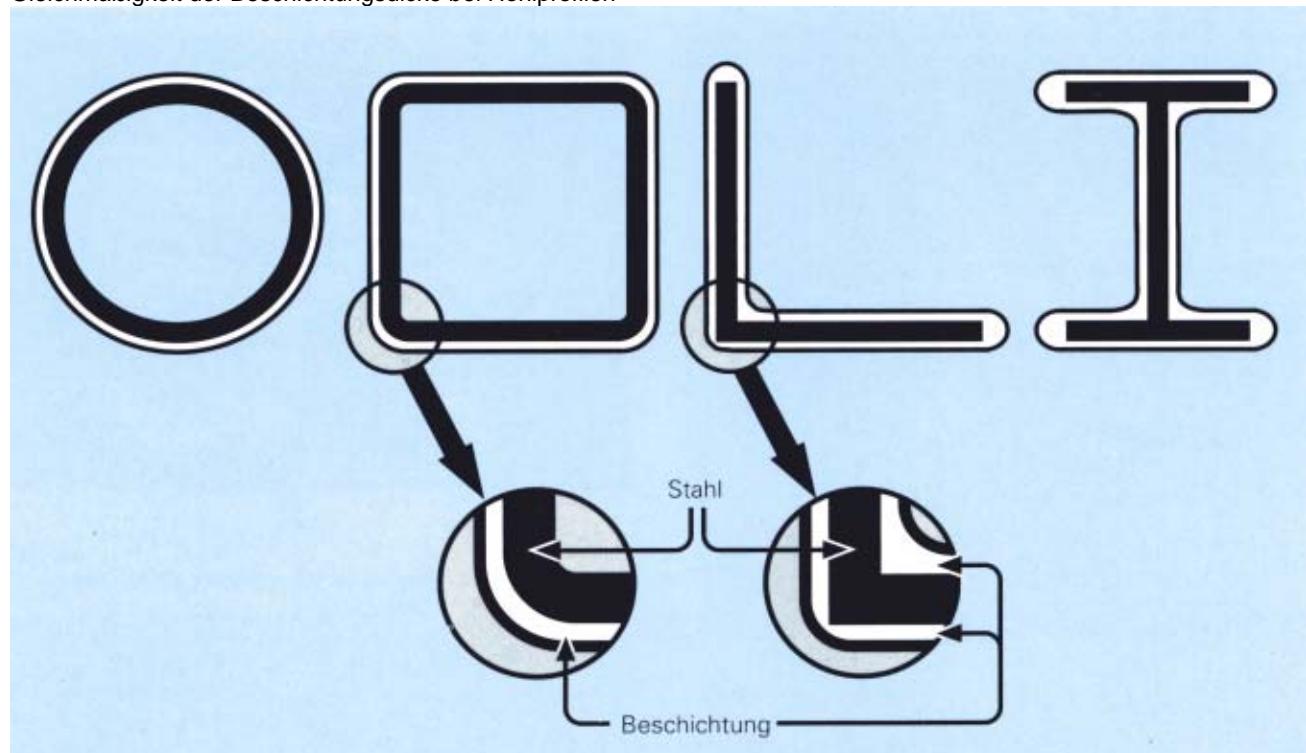
Hohlprofil-Abmessungen in mm kleiner als:	Mindest-Loch-Ø in mm bei einer jeweiligen Anzahl der Öffnungen von:		
	1	2	4
51,0	40	50 x 30	14 12
63,5	50	60 x 40	16 12 10
76,1	60	80 x 40	20 12 10
101,6	80	100 x 60	20 16 12
127,0	100	130 x 80	25 20 12
152,4	120	160 x 80	30 25 16
193,7	160	200 x 120	40 25 16
244,5	200	250 x 150	50 30 20
273,0	220	260 x 180	— 40 25
323,9	250	300 x 200	— 40 25
339,7	260	—	— 40 25

Die Anwendung von Hohlprofilen statt offenen Walzprofilen stellt im Prinzip bereits eine konstruktive Korrosionsschutzmaßnahme dar. Die wichtigsten Gründe hierfür sind die bei Hohlprofilen geringeren Angriffsflächen und fehlenden Kanten. Bei Hohlprofilkonstruktionen besteht – anders als bei offenen Profilen – selbst bei Knotenkonstruktionen kaum die Gefahr, daß Wasserfützen auf kritischen Oberflächenbereichen stehen bleiben oder sich in Spalten ansammeln können, wo sie zu örtlichen Korrosionsschäden führen könnten. Derartige Konstruktionen bieten überdies den Vorteil, daß üblicherweise eine gute Zugänglichkeit aller Oberflächen existiert, so daß nachträgliche Beschichtungen oder Reparaturarbeiten mit der notwendigen Sorgfalt durchgeführt werden können. Gerade auch für die Verzinkung ist es leicht, mit Hohlprofilen verzinkungsgerechte

Konstruktionen zu erstellen, bei denen die Bildung von Luftpolstern vermieden und ein gutes Abfließen überschüssigen Zinks gewährleistet werden kann.

Bei Korrosionsschutzbeschichtungen ist bei Hohlprofilen der Materialverbrauch an Beschichtungsstoff geringer, da nur eine Seite, die Außenseite, beschichtet zu werden braucht. Dies ist für die Kostenkalkulation von Bedeutung. Darüber hinaus ist die Schichtdicke überall konstant, da negative Kanteneffekte (zu dünne Schichten an Außenkanten, zu dicke Schichten an Innenkanten) nicht vorhanden sind (Bild 19). Dadurch sind die Kanten nicht bevorzugter Ausgangsort für Korrosionsangriffe und brauchen nicht durch Anwendung höherviskoser Beschichtungsstoffe gesondert nachgearbeitet zu werden.

**Bild 19**  
Gleichmäßigkeit der Beschichtungsdicke bei Hohlprofilen



## 5. Reparatur und Instandhaltung von Korrosionsschutzsystemen

Atmosphärische Belastungen (Kondensate, Stäube, UV-Strahlung etc.), thermische Beanspruchung (Objektwärme, Schweißen etc.), chemischer Angriff (Säuren, organische Lösungsmittel etc.) sowie mechanische Belastungen können Korrosionsschutzsysteme (Überzüge, Beschichtungen) schädigen. Als äußeres Merkmal treten im Anfangsstadium Bildung von Blasen, Rissen und Löchern bzw. Verwitterung der Schutzsysteme auf. Reichen die Schäden bis zum Grundmaterial, werden bei Beschichtungen bald feine Rostpusteln sichtbar. Im fortgeschrittenen Stadium nimmt die Rostbildung zu und unterwandert die Überzüge bzw. Beschichtungen bis zum mehr oder minder großflächigen Abplatzen und Freilegen des Grundmaterials. Dieses unterliegt nun ungeschützt stärkerem Korrosionsangriff bis zur Beeinträchtigung der Bauteilfunktion.

Wann erste Reparaturarbeiten an einem geschädigten Bauteil durchgeführt werden, entscheidet die ursprüngliche Konzeption des Korrosionsschutzes. Je nach Anforderungen in Bezug auf Sicherheit, Verfügbarkeitsnotwendigkeit

und geplanter Lebensdauer einer Anlage ergeben sich unter Berücksichtigung wirtschaftlicher Abwägungen folgende Möglichkeiten /17/:

1. Die Anlage wird ohne besonderen Korrosionsschutz in Betrieb genommen und arbeitet bis zur Unbrauchbarkeit.
2. Die Anlage wird vor der Inbetriebnahme mit Korrosionsschutz (Beschichtungen, Überzüge) versehen und arbeitet bis zum vollständigen Versagen des Korrosionsschutzes. Dann erfolgt ein Neuaufbringen des Korrosionsschutzes nach entsprechender Oberflächenvorbehandlung (Reinigen, Entrostern).
3. Die Anlage wird vor der Inbetriebnahme mit Korrosionsschutz versehen, während des Betriebs in angemessenen Zeiträumen inspiziert und gegebenenfalls ausgebessert.

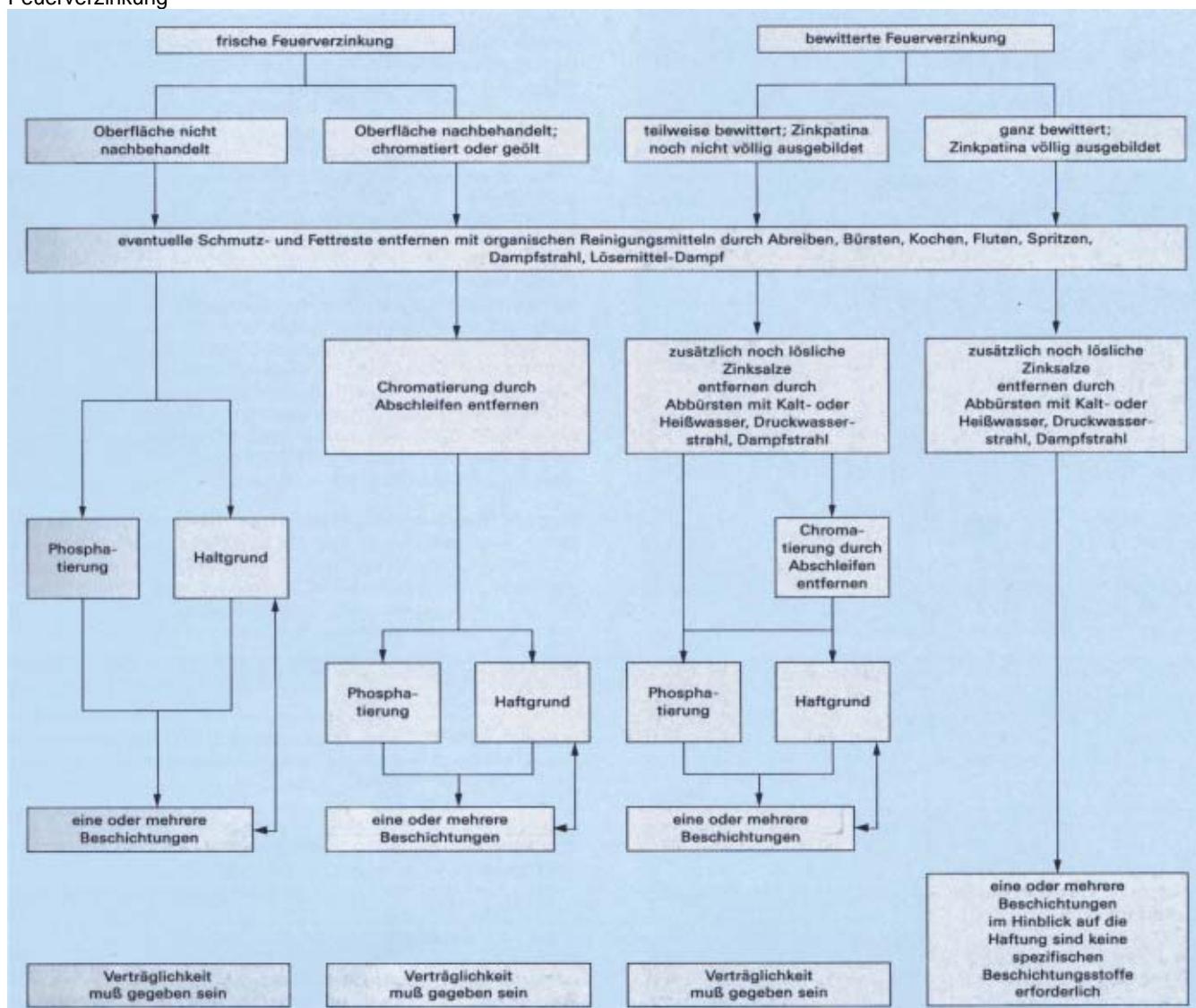
Ist eine Wartung des Korrosionsschutzsystems vorgesehen, so muß bei dessen Auswahl die Möglichkeit der Reparatur festgestellt und die erforderlichen Randbedingungen beachtet werden.

## 5.1 Ausbesserung von Überzügen

Eine Ausbesserung von Zinküberzügen ist durch Löten, thermisches Spritzen mit Zink und durch Zinkstaubbeschichtungen (Zinkstaubfarben) möglich. Grundsätzlich ist eine Oberflächenvorbereitung durch Strahlen bis mindestens zum Entrostungsgrad Sa 2 1/2 erforderlich. Das Löten erfordert eine gewisse manuelle Geschicklichkeit, das Zink-Metallspritzen einen hohen apparativen Aufwand. Einfacher und schneller sind die Zinkstaubbeschichtungen. Soll der Korrosionsschutz, der z.B. örtlich durch Schweißarbeiten zerstört wurde, durch Zinkstaubbeschichtungen wieder hergestellt werden, sollten Schichtdicken von 80-120 µm aufgebracht werden. Grundierungen sollten mindestens eine Schichtdicke von 40 µm haben. Die später auf die Zinkstaubgrundierung zu applizierenden Decklacke müssen jedoch unbedingt auf das Bindemittel in der Zinkstaubgrundierung abgestimmt werden. Durch thermisches Spritzen hergestellte Ausbesserungsüberzüge sollten stets möglichst unmittelbar nach dem Aufbringen durch eine organische Grundbeschichtung mit porenenpenetrierenden Eigenschaften und nachfolgende Deckbeschichtungen geschützt werden. Bei der Grundbeschichtung ist dann ebenfalls eine Zinkstaubgrundierung empfehlenswert.

**Tabelle 6**

Beschichtungsaufbau in Abhängigkeit vom Zustand der Oberfläche der Feuerverzinkung



## 5.2 Ausbesserung von Beschichtungen

Je nach Grad der Schädigung genügt im einfachsten Fall eine lokale Ausbesserung. Nach Entfernen von Korrosionsprodukten und schadhaften Deckschichtbereichen wird eine Grundierung sowie anschließend eine erste und ggf. eine zweite Decklage aufgebracht. Bei großflächigen Verwitterungerscheinungen ohne Schäden am Grundmaterial kann direkt ein neuer Deckanstrich appliziert werden. Dabei ist auf die Verträglichkeit der neuen Deckschicht mit der alten Beschichtung zu achten. Ggf. muß die alte Beschichtung durch entsprechende Vorbehandlung angelöst oder zur besseren Haftung der neuen Decklage durch Schleifen oder Strahlen aufgerautet werden.

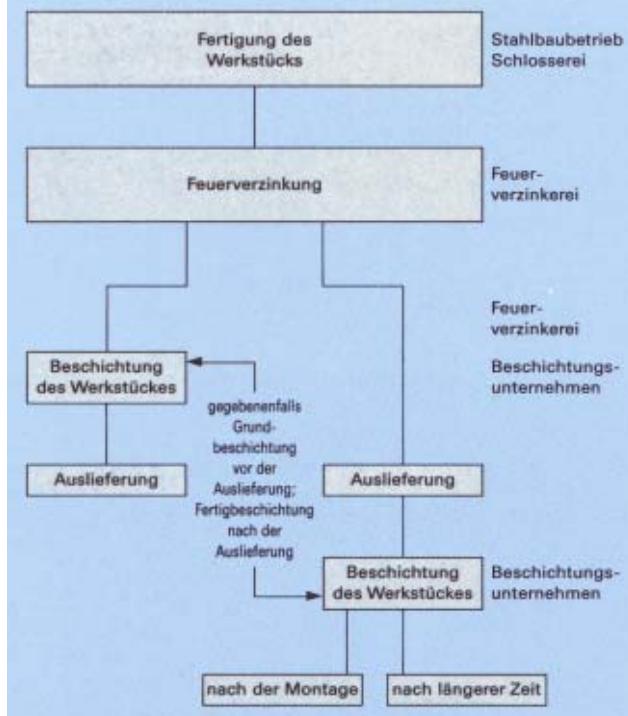
Sind ausgedehnte Delaminationserscheinungen (Abblätterungen) an der alten Beschichtung festzustellen, muß das gesamte Bauteil auf geeignete Weise von der Altbeschichtung befreit und der Untergrund beschichtungsgerecht vorbereitet werden.

### 5.3 Ausbesserung von Beschichtungsschäden auf feuerverzinktem Stahl

Während es in der Regel unproblematisch ist, Feuerverzinkungen nach einer Witterungsexposition von wenigen Jahren haftfest zu beschichten, ist es bekannt, daß Beschichtungen, die auf eine frische Verzinkung aufgetragen wurden, relativ schnell (manchmal bereits nach wenigen Wochen) abplatzen können (Tabelle 6-8). Überwiegende Ursache solcher Beschichtungsschäden sind ungeeignete Beschichtungsstoffe. Daneben können Korrosionsprodukte, die vor dem Beschichten nicht entfernt wurden oder nach der Beschichtung entstanden sind, für die Abplatzungen verantwortlich gemacht werden. Ein geringer Teil der Schäden beruht auf die Anwesenheit von Fetten und anderen artfremden Stoffen (z.B. lösliche Zinksalze) auf der zu beschichtenden Oberfläche.

**Tabelle 7**

Möglichkeiten der Beschichtung von feuerverzinktem Stahl



Die Beschichtung frischer Verzinkungen bedarf somit einer sorgfältigen Oberflächenvorbereitung bzw. –vorbehandlung und Auswahl geeigneter Beschichtungsstoffe. Ggf. vorhandene Schmutz- und Fettreste können mit organischen Reinigungsmitteln durch Abreiben oder Bürsten, Kochen, Fluten, Spritzen oder Dampfstrahl entfernt werden. Chromatierungen müssen durch Abschleifen entfernt werden. Alkalische und saure Reinigungsmittel können bei zu langer Behandlungsdauer den Zinküberzug angreifen. In Spalten ist meist ein Auswaschen nicht mehr möglich, so daß dort mit schlechter Haftung der Beschichtung zu rechnen ist. Wo anwendbar, hat sich auch eine Vorbereitung von Zinkoberflächen durch eine ammoniakalische Netzmittelwäsche unter Verwendung von Korund-Kunststoffvlies bewährt.

Als Haftvermittler zwischen Zinküberzug und Beschichtung werden Phosphatierschichten und Schichten spezieller Haftgrundmittel (Wash-Primer) verwendet. Zur Herstellung von Phosphatierschichten wird die Oberfläche mit phosphathaltigen Lösungen behandelt (vergl. auch DIN 50 942). Als Haftgrundmittel werden meist Zweikomponenten-Wash-Primer angewandt. Diese müssen jedoch innerhalb eines Zeitraums von 6-8 Stunden verarbeitet sein, da sie nach dieser Zeit ihre Wirkung verlieren. Nachteilig ist, daß sie sich auch nach dieser Zeit noch ohne Schwierigkeit verarbeiten lassen, das Unbrauchbarwerden somit im Gegensatz zu Reaktionsbeschichtungsstoffen nicht erkannt wird. Einkomponentenprimer haben diesen Nachteil zwar nicht. Sie müssen aber auch innerhalb von 6 Monaten verarbeitet werden. In zu dicker Schicht appliziert (Sollschichtdicke 6-8 µm) verschlechtern die Wash-Primer die Haftung der Deckbeschichtung. Wash-Primer werden heute nicht mehr empfohlen.

Von den vielen auf Stahl gut haftenden Beschichtungen sind für die Beschichtung von frischen Feuerverzinkungen ohne besondere Vorbehandlung nur wenige geeignet (Tabelle 9). Dies gilt nicht für mehrjährig abgewitterte feuerverzinkte Oberflächen. Nach den heutigen Erkenntnissen sind die meisten oxidativ trocknenden Beschichtungsstoffe auf Zink nicht geeignet. Physikalisch trocknende Beschichtungsstoffe auf Acrylat- oder PVC-Basis sollten speziell für Zink entwickelt und geprüft sein. Gleiches gilt für Zweikomponenten-Systeme auf Basis Epoxid- oder Polyurethanharz. Gute Erfolge wurden mit robusten Systemen auf Basis Teer, Bitumen/Öl-Kombinationen und Epoxidharz/Teer-Systemen erzielt. Bei den sogen. „Spezialbeschichtungsstoffen“ ist zu bedenken, daß sie meist bei Kondenswasser- und Unterwasserbeanspruchung oder bei stärke-

**Tabelle 8**

Mögliche Zeitpunkte für das Beschichten feuerverzinkten Stahls (Stückverzinkung) – Merkmale, Beurteilung, Vorbereitung –

Merkmale	Zeitpunkt	unmittelbar nach dem Feuerverzinken	nach kürzerer Standzeit z. B. 5 Jahren	nach langjähriger Standzeit, ohne Rostbildung	nach langjähriger Standzeit mit Rostbildung
Zustand des Überzuges	neu bzw. frisch	bewittert	teilweise abgebaut	abgebaut mit Roststellen	
Überzugsdicke bei 100 µm Ausgangsdicke	100 µm	z. B. 85 µm	~ 25 µm	~ 25 – 0 µm	
Aussehen	Farblton von silbrig-glänzend bis mattgrau, z. T. Zinkblumen mehr oder weniger ausgeprägt	Farblton grau oder weißlich, matte Oberfläche, Zinkblumen kaum oder nicht mehr erkennbar		Farblton grau oder weißlich, matte Oberfläche, Zinkblumen kaum oder nicht mehr erkennbar, Roststellen	
Beurteilung hinsichtlich der Eignung als Beschichtungsträger	nicht unproblematisch	problemlos	problemlos	Rest-Zinküberzug: problemlos Stahlrost: problematisch	
Oberflächen-Vorbereitung	Abbürsten, nötigenfalls entfetten	Abbürsten	Abbürsten	Abbürsten, Roststellen entrostet und ausflecken	
Beschichtungsaufbau (Regelaufbau)	normalschichtig: 1 Grundbeschichtung 1 Deckbeschichtung dickschichtig: 1 Beschichtung		normalschichtig: 1 Grundbeschichtung 2 Deckbeschichtungen dickschichtig: 2 Beschichtungen		

**Tabelle 9**

Bindemittel für Beschichtungsstoffe für frisch feuerverzinkten Stahl

Gut geeignet sind:	Bedingt geeignet sind:	Nicht geeignet sind:
Spezielle Alkydharze Bitumen/Öl-Kombinationen Vinylharze Epoxidharze Acrylatharze Steinkohlenteer Teer/Epoxidharz-Kombinationen Dispersionen auf Basis von Vinyl- oder Acrylatharzen wasserverdünnbare Acrylate	Chlorkautschuk Cyclokautschuk Siliconharze Styrol/Alkydharze Polyurethanharze	Alkydharze (konventioneller Malerlack) Bitumen Cellulosederivate chlorsulfonierte Polyäthylen*) Organosole Plastisole Polychloropren Silicate ungesättigte Polyester <small>*) auf Einkomponenten-Basis jedoch geeignet</small>

ren Feuchtigkeitswechseln versagen. Problematisch für den Anwender ist auch, daß einige Systeme eine gute Dauerhaltbarkeit aufweisen, solange sie nicht mit anderen überstrichen werden. Bei anderen Systemen ist dagegen eine spezielle Deckbeschichtung zur Erzielung einer guten Haltbarkeit geradezu erforderlich. Gerade im Hinblick auf Instandhaltungsprobleme muß hier eine sehr sorgfältige Information und Beratung erfolgen.

Bei Anwendung von Dispersionsfarben sollten vorzugsweise solche auf Basis von Vinyl- oder Acrylharzen verwendet werden. Je nach Farbgebung können jedoch manchmal auch Salzausblühungen vom Zinkuntergrund durchschlagen. Wasserverdünnbare Acrylat-Dispersionslacke sind besonders für den Außeneinsatz problematisch. In DIN 55928, Teil 5 werden Beispiele von Korrosionsschutzsystemen aus Metallüberzügen und Beschichtungen gegeben (Tabelle 4).

## 6. Wirtschaftliche Aspekte

Bei Wirtschaftlichkeitsüberlegungen sollte man nicht den maximalen, sondern den optimalen Korrosionsschutz betrachten. Eine Anlage, die beispielsweise nur drei Jahre betrieben wird, benötigt keinen Korrosionsschutz für 20 Jahre. Unter ökonomischen Gesichtspunkten bedeutet dies, daß die Kosten für den Korrosionsschutz grundsätzlich geringer ausfallen müssen als die Kosten, die für Wartung und Instandhaltung einer Anlage anfallen, wenn keine Schutzmaßnahmen getroffen werden. Des weiteren sind bei der Kalkulation neben der Nutzungsdauer bzw. Schutzdauer und den Kosten des Korrosionsschutzsystems auch zulässige Abrostungsgrenzen sowie die Korrosivität des Standorts zu berücksichtigen.

Die Gesamtkosten der Korrosionsschutzmaßnahmen setzen sich zusammen (Bild 20) aus den primären Kosten (Kosten für den aktiven und passiven Korrosionsschutz, einschließlich der Kosten für eine sachgerechte Lagerung, Transport, Montage usw.) und den sekundären Kosten (Kosten für die Erhaltung der Produktionsanlagen, Versorgungseinrichtungen und dgl. einschließlich der Kosten für Schadensfalluntersuchung, Überwachungstätigkeit und Reservefonds).

Diesen Kosten sind die Gesamtaufwendungen für Korrosionsschäden gegenüberzustellen, wobei außer den primären Korrosionskosten (Kosten für die Wiederherstellung der stabilen Produktion [Störungsursache Korrosion]) auch die sekundären Korrosionskosten (zusätzliche aus den primären Korrosionskosten resultierende Aufwendungen durch Vertragsstrafen, Regreßansprüche usw.) zu berücksichtigen sind.

Die Ermittlung der ökonomisch günstigsten Handlungswei-

se ergibt sich bei gleichzeitiger Auftragung der Kosten für die Korrosionsschutzmaßnahmen und der Kosten infolge von Korrosionsschäden gegen die Korrosionsgeschwindigkeit (Bild 21). Die sich ergebenden Gesamtkosten sind aus der Summenkurve abzulesen. Im Minimum dieser Kurve lassen sich die zu erwartenden Kosten für Korrosionsschäden und Korrosionsschutzmaßnahmen ablesen.

Von besonderer Bedeutung ist dabei die Kostenanalyse für die Inspektion und Reparatur von Beschichtungssystemen. Bei regelmäßigen Inspektionen kann das Versagen von Deckschichten recht frühzeitig erkannt werden. Eine sofortige Ausbesserung lokaler Mängel bedeutet geringere Instandhaltungskosten, denn die Kosten steigen progressiv mit der Zeit, in der keine Reparaturmaßnahmen durchgeführt werden (Bild 22).

Grundsätzlich ist festzustellen, daß der Nutzen von Korrosionsschutz- und Instandhaltungsmaßnahmen quantifiziert werden kann und aus ökonomischer Sicht auch sorgfältig analysiert werden sollte.

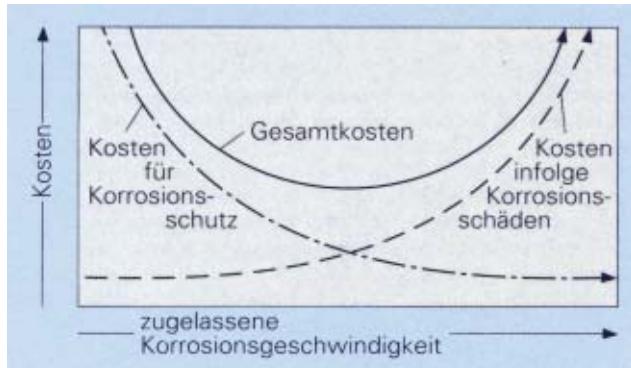
**Bild 20**

Kostengliederung von Korrosionsschutzkosten

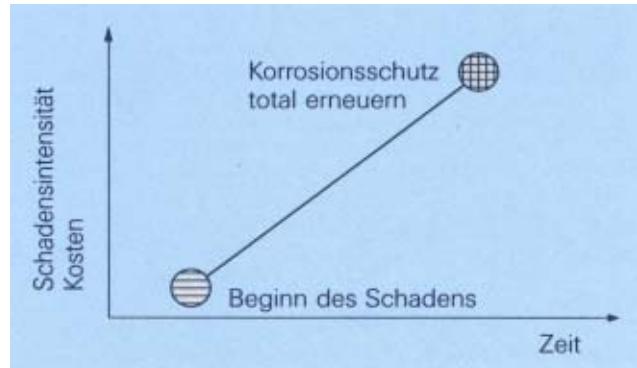


**Bild 21**

Abhängigkeit der Gesamtkosten von den Korrosionsschutzkosten

**Bild 22**

Progressives Wachsen der Schäden und Kosten in Abhängigkeit von der Zeit



## 7. Literatur

1. W. Kranitzky: „Das Verhalten der Innenflächen geschlossener Hohlbauteile aus Stahl hinsichtlich Feuchtigkeitsniederschlag und Korrosion“, Der Stahlbau, Heft 7 (1983) 7 – 12
2. K.-H. Mommertz, K. Polthier, H. Weineck: „Brand- schutz von Stahlstützen durch Wasserkühlung“, Stahl und Eisen 90 (1970) 1234 – 1242
3. DIN 55 928, Teil 1, Ausgabe November 1976, Korrosionsschutz von Stahlbauten durch Beschichtungen und Überzüge, Beuth Verlag GmbH, Berlin, Köln
4. H. Groß, C. L. Kruse: „Charakterisierung des Atmosphärentyps mit Standardproben nach DIN 50 917“, Farbe und Lack 88 (1982) 269
5. ISO/DP 9223, Classification of Corrosivity Categories of Atmospheres  
ISO/DP 9224, Guiding Values for Corrosivity Categories of Atmospheres  
ISO/DP 9225, Methods of Measurements of Pollution Data  
ISO/DP 9226, Methods of Determination of Corrosion Rate of Standard Specimens for the Evaluation of Corrosivity
6. DIN 50 900, Teil 1 Ausgabe April 1982, Korrosion der Metalle – Allgemeine Begriffe, Beuth Verlag GmbH, Berlin, Köln
7. ISO 8044, Corrosion of metals and alloys – Terms and definitions. First Edition: 15.12.1986; abgedruckt im DIN Taschenbuch 219, „Korrosion und Korrosionsschutz – Beurteilung, Prüfung, Schutzmaßnahmen“, Beuth Verlag GmbH, Berlin, Köln
8. DIN Taschenbuch 219 „Korrosion und Korrosionsschutz“, siehe auch Lit. 5; vergl. auch die „Übersicht der Normen, Technischen Regeln und Richtlinien auf dem Gebiet der Korrosion, Korrosionsprüfung und Korrosionsschutz“ 3. Fortschreibung einer Mitteilung aus dem Fachbeirat der Arbeitsgemeinschaft Korrosion e.V. (AGK), Werkstoffe und Korrosion 41 (1990) 264 – 269
9. Korrosionsschutz durch Information und Normung – Kommentar zum DIN Taschenbusch 219, W. Fischer, Herausg., Verlag Irene Kuron, Bonn, 1988
10. DIN Taschenbuch 143, „Korrosionsschutz von Stahl durch Beschichtungen und Überzüge 1. (Leistungsbereich DIN 55 928). DIN 267 Teil 10 bis DIN 50 986“, Beuth Verlag GmbH, Berlin, Köln, 1981
11. DIN Taschenbuch 168, „Korrosionsschutz von Stahl durch Beschichtungen und Überzüge 2. (Leistungsbereich DIN 55 928)“, Beuth Verlag GmbH, Berlin, Köln, 1981
12. E. V. Schmid: „Wetter und Korrosionsschutz“ Herausg. Curt R. Vincentz Verlag, Hannover, 1983
13. Korrosionsverhalten von feuerverzinktem Stahl, Merkblatt 400, 5. Auflage 1990 Stahl-Informations-Zentrum, Postfach 1611, 4000 Düsseldorf
14. K.-A. van Oeteren: „Feuerverzinkung + Beschichtung = Duplex-System“, Bauverlag, Berlin, 1983
15. Merkblätter des Verbandes der Deutschen Feuerverzinkungsindustrie e.V. und Beratung Feuerverzinken, Solmstr. 70, 4000 Düsseldorf 1
16. Merkblätter des Bundesausschusses Farbe und Sachwertschutz (Börsenstraße 1, 6000 Frankfurt/Main 1)
17. K.-A. van Oeteren: „Korrosionsschutz durch Beschichtungsstoffe“, Band 1 und 2; Hanser Verlag, München, 1981
18. Korrosion/Korrosionsschutz, Folienserie Nr. 8 des Fonds der Chemischen Industrie, Karlstr. 21, 6000 Frankfurt/Main.

- Lehrseite -

**Geschäftsstellen  
der Hoesch AG**

**Export**

**Berlin**

Ziegrastraße 1  
1000 Berlin 44  
Telefon (030) 6843051  
Fax (030) 6843053

**Düsseldorf**

Couvenstraße 2  
D-4000 Düsseldorf 1  
Telefon (0211) 3611-0  
Fax (0211) 362126

**Frankfurt**

Gutleutstraße 365  
D-6000 Frankfurt/a. M- 1  
Telefon (069) 2541281  
Telex 414521  
Fax (069) 234065

**Hannover**

Arnswaldtstraße 18  
D-3000 Hannover  
Telefon (0511) 304030  
Fax (0511) 3040324

**Leipzig**

Leninstraße 200  
Messegelände – Halle 7.11  
O-7010 Leipzig  
Telefon (0037) 41 – 2232620  
Fax (0037) 41 – 2232627

**Magdeburg**

Walter-Rathenau-Straße 43  
O-3024 Magdeburg  
Telefon (0037) 91-58271  
Fax (0037) 91-51031  
Telex 8112 gebau dd

**München**

Briener Straße 44  
D-8000 München 2  
Telefon (089) 521044/45  
Telex 523391  
Fax (089) 526 178

**Stuttgart**

Am Ostkai 15  
D-7000 Stuttgart 60  
Telefon (0711) 323075  
Telex 7111044  
Fax (0711) 328930

**Hoesch Export AG**

Postfach 101664  
Elisabethstraße 1-3  
D-4600 Dortmund 1  
Telefon (0231) 545-0  
Teletex 231500-hed  
Telex 17231500  
Fax (0231) 545630

**Dänemark**

Hoesch Danmark  
Algade 43A  
DK-4000 Roskilde  
Telefon (42) 365222  
Telex 43135  
Fax (42) 369982

**Frankreich**

Hoesch France S.à.r.l.  
21, Rue Royale  
F-75008 Paris  
Telefon (1) 42650441  
Telex 650276  
Fax (1) 47424148

**Großbritannien**

Hoesch Limited  
Cavendish House  
36/40 Goldsworth Road  
GB-Woking  
Surrey GU 21 1JT  
Telefon (462) 26311  
Telex 859689  
Fax (483) 757226

**Italien**

Hoesch Italia S.r.l.  
Via Grazzini 14  
I-20157 Milano  
Telefon (2) 37672  
Telex 334064  
Fax (2) 375795

**Niederlande**

Hoesch Nederland  
Jan van Nassaustraat 12  
NL-2596 BT Den Haag  
Telefon (70) 3244390  
Telex 34161  
Fax (70) 3244936

**Österreich**

Hoesch Stahlhandel  
Gesellschaft mbH  
Operngasse 18  
A-1040 Wien  
Telefon (1) 5875525  
Telex 113393  
Fax (1) 587552537

**Schweden/Finnland**

Skandinaviska Hoesch AB  
Mörbyleden 20  
S-18232 Danderyd  
Telefon (8) 7553179  
Telex 13010  
Fax (8) 7558532

**Schweiz**

Hoesch Basel AG  
Engelgasse 43  
CH-4052 Basel  
Telefon (61) 3125200  
Telex 964079  
Fax (61) 3121629

**Spanien**

Hoesch Ibérica S.A.  
Pedro Muguruza 4-1°  
E-28036 Madrid  
Telefon (1) 2505001  
Telex 22763  
Fax (1) 2505108

**UdSSR**

Hoesch Export AG  
Repräsentanz Moskau  
Uliza Gubkina 14  
9<sup>th</sup> Floor, Office N° 85  
117312 Moscow / UdSSR  
Telefon 007-095-9382814 and  
9382800  
Telex 413 183 drb su 'for mr gabriel,  
hoesch export ag'

**USA**

Hoesch America, Inc.  
Suite 1100  
One Ravinia Drive  
Atlanta, GA 30346  
Telefon (404) 399-5500  
Teletex 25600160  
Telex 549505  
Fax (404) 3990731

**Hoesch Rohr AG**

Kissinger Weg, D-4700 Hamm 1  
Telefon (02381) 420-0, Fax (02381) 420 265

**HOESCH**