



Brütsch/Rüegger AG  
Stahlrohre  
Althardstrasse 83  
CH-8105 Regensdorf  
Tel. 01/871 34 34  
Fax 01/871 34 99  
www.b-r.ch  
ISO 9002-Zertifikat

# Korrosionsschutz von Stahl Teil 1

Technische Schriftenreihe

07



# Korrosionsschutz von Stahl

## Inhaltsverzeichnis

Kathodischer Korrosionsschutz

Temporärer Korrosionsschutz

Umwandlungsschichten

Metallische Überzüge

# Korrosionsschutz von Stahl

In den Kapiteln *Wetterfeste Stähle* und *Nichtrostende Stähle* wird der Ablauf und die Arten der Korrosion behandelt, ebenso die grundsätzlichen Methoden des aktiven und passiven Korrosionsschutzes. Während demnach das Legieren des Stahles zu der ersten Art gehört, bezeichnet man das Aufbringen von Deckschichten und damit die Unterbindung des Kontaktes zwischen den angreifenden Stoffen und dem Stahl als passiv. Diese Methode wird in der Praxis wesentlich häufiger durchgeführt als das teurere Legieren.

Im folgenden sollen die verschiedenen Arten des Korrosionsschutzes besprochen werden, wobei hier nicht so sehr die Technologie bei der Herstellung interessiert, sondern die Auswirkung auf den Stahl.

## Kathodischer Korrosionsschutz

Diese Art zählt zu den aktiven Verfahren. Bei jeder Korrosion wird elektrischer Strom erzeugt. Leitet man nun in das zu schützende Stahlteil einen entgegengesetzten gerichteten Strom ein, so wird der Korrosionsstrom ausgeglichen, und die Zerstörung des Materials unterbleibt. Man muss also den Stahl zur Kathode machen, dann kann er sich nicht chemisch umwandeln.

Bei der praktischen Anwendung geht man auf zwei Arten vor. Zum einen entnimmt man den benötigten Strom einer Gleichstromquelle und leitet ihn in eine Anode aus Graphit o. a., die direkt auf dem Stahlteil sitzt, oder man erzeugt den Strom galvanisch, indem man ein gegenüber Eisen unedleres Metall (Magnesium, Aluminium oder Zink) als Anode verwendet, die sich im Laufe der Zeit langsam auflöst. Den ersten Fall bezeichnet man auch als Fremdstromverfahren, den zweiten als Opferanoden-

verfahren, denn die Metallplatten müssen von Zeit zu Zeit erneuert werden (siehe Bild 1). Dieser kathodische Korrosionsschutz wird insbesondere angewendet für Stahlteile, die sich im Wasser befinden oder in den Erdboden verlegt sind, z. B. Rohrleitungen, Öltanks, Wasserbehälter, Hafenanlagen (Spundwände, Kaianlagen), Schiffe.

## Temporärer Korrosionsschutz

Auf diese Art sollen Stahlteile nur kurzzeitig geschützt werden, insbesondere während des Transports, der Lagerung und in Zwischenstufen der Bearbeitung. Man verwendet spezielle Öle, Fette, Hartwaxe oder auch Klarlacke. Das Auftragen erfolgt durch Pinseln, Tauchen oder Spritzen entweder von Hand oder – z. B. bei Bändern – auf kontinuierlich betriebenen Anlagen. Die Schutzwirkung hält unterschiedlich lange vor und ist auch davon abhängig, ob der Stahl im Freien, in offenen oder klimatisierten Hallen gelagert wird. Die Schutzmittel können durch spezielle Zusätze in gewissem Umfang Feuchtigkeit (z. B. Schwitzwasser) aufnehmen und unschädlich machen. Da auf die Stahlteile später die dauernd wirkenden Schutzschichten aufgetragen werden, müssen die temporären Schutzmittel gut wieder zu entfernen sein, z. B. in Lösungsmitteln.

## Umwandlungsschichten

Diese Schichten bilden den Übergang zwischen den temporären und den dauernd wirkenden Mitteln. Typisch ist, dass sich der Stahl am Aufbau der Schichten beteiligt, und zwar durch eine chemische Umwandlung. Häufig treten diese Schichten an die Stelle der temporären, müssen aber später beim Auftragen des Dauer-schutzes nicht entfernt werden.

Beim *Phosphatieren* (DIN 50942) wird der gereinigte Stahl in eine Lösung von verschiedenen Phosphaten (Zink-, Mangan- oder Eisenphosphat), in Phosphorsäure getaucht oder auch damit bespritzt. Mit dem Stahl bilden sich hell- bis dunkel-

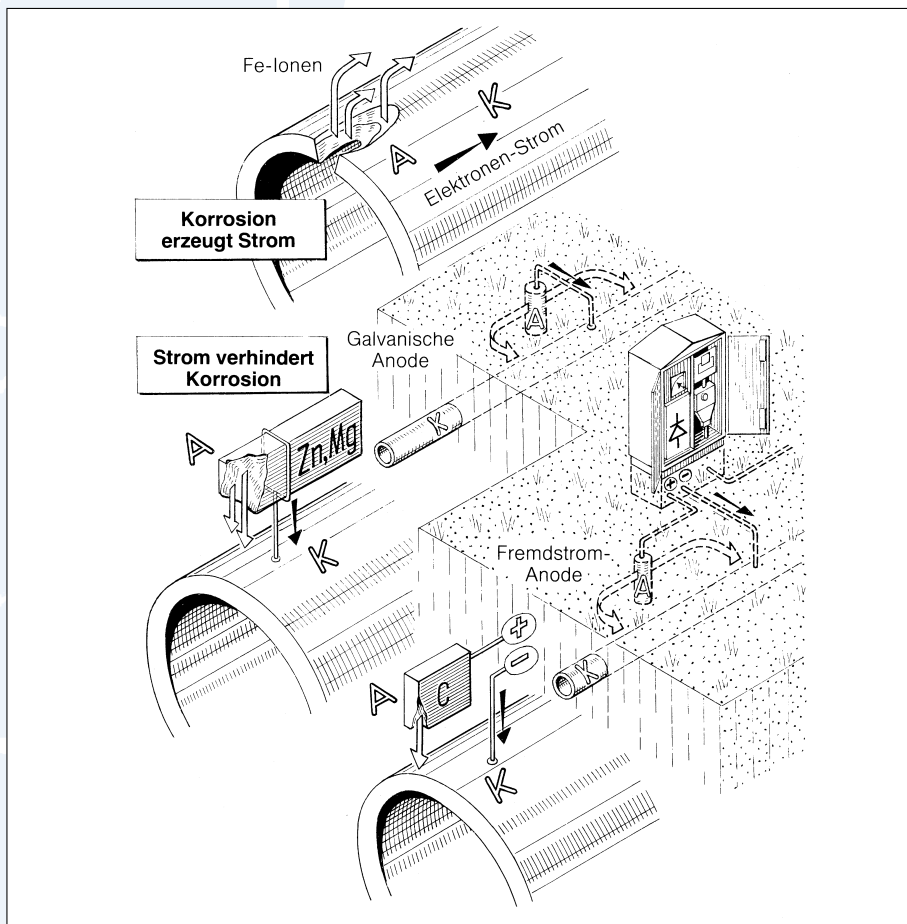


Bild 1: Kathodischer Korrosionsschutz

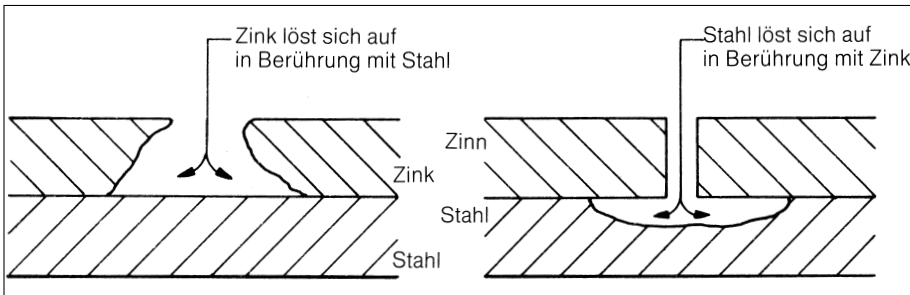


Bild 2: Unterschiedliches Verhalten von edleren (Zinn) und unedleren (Zink) Metallen auf Stahl.

graue Phosphatschichten, die je nach Tauchzeit und Badtemperatur 0.1 bis 10 µm dick sind, sehr fest haften und winzige Poren enthalten. Je nach Schichttypen (Art der Phosphate) und Schichtdicke unterscheidet man verschiedene Verfahren, die früher mit besonderen Namen versehen wurden (Bondern, Atramentieren, Granodieren, Parkerisieren), heute nach DIN mit Kurzzeichen.

Im Vordergrund steht die unterschiedliche Verwendung der jeweiligen Schichten. Wegen der Mikroporen bildet eine dünne Phosphatschicht (angegeben als Flächengewicht, hier 0,1 bis 1 g/m<sup>2</sup>) einen ausgezeichneten Haftvermittler für folgende Anstriche (Anwendung besonders im Karosseriebau). Dickere Schichten bis 10 g/m<sup>2</sup> dienen längerem Korrosionsschutz (Kennbuchstabe r), erleichtern die spanlose Kaltumformung (Ziehen von Draht und Rohren, Tiefziehen von Blechen), indem das Gleiten verbessert, das Reiben und Fressen verhindert werden (= Bondern, Kennbuchstabe z), erleichtern das Gleiten bei der Verwendung (z. B. bei Zahnrädern, Nockenwellen, Stößeln, Kolben; besonders auch durch Festhalten der Schmiermittel in den Poren; Kennbuchstabe g) und bilden eine elektrische Isolation (z. B. auf Elektroblechen; Kennbuchstabe i).  
 Beim *Brünieren* (DIN 50938) wird der Stahl in heisse, oxidierend wirkende, alkalische Salzlösungen eingetaucht und bildet schwarzbraune Oxidschichten. Die Schutzwirkung ist begrenzt, sie kann durch Nachbehandlung in Öl oder Wachs verbessert werden. Das Brünieren wird z. B. angewendet für Beschlagteile, Klein-eisenwaren, Waffen.

Beim *Inoxidieren* oder *Blauglühn* wird der Stahl in oxidierender Atmosphäre bei 800 bis 900°C gegläht. Es bilden sich Eisenoxidschichten (FeO, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), die den dunkelbraunen Anlauffarben entsprechen. Die Schutzwirkung ist ebenfalls begrenzt, sie kann durch Nachbehandlung in Öl oder Wachs verbessert werden. Auch dieses Verfahren wird bevorzugt bei Kleinteilen durchgeführt. Die Herstellung von *Blauglanzblechen* ist im Grunde dasselbe. Dabei werden entzunderte Bleche bei der angegebenen (niedrigen) Temperatur schlussgewalzt oder kaltgewalzte Bleche gegläht.

Beim *Chromatieren* (DIN 50941) wird Stahl in ein Chromatbad getaucht, wo sich eine farblose, schwach bläuliche oder bei größeren Dicken auch gelbe bis grün-braune Schicht bildet. Dieses Verfahren dient sowohl als Grundierung zur besseren Haftung von Anstrichen, insbesondere aber zur Verbesserung des Korrosionsschutzes von Zink- und Cadmiumüberzügen.

## Metallische Überzüge

Gerade auf diesem Gebiet gibt es eine Vielzahl von Verfahren des Auftrags und der verwendeten Metalle. Diese verhalten sich entweder edler oder unedler als Eisen. Das richtet sich nach ihrer Stellung in der galvanischen Spannungsreihe, d. h. wenn man zwei Metalle elektrisch leitend miteinander verbindet, dann erhebt sich die Frage, welches zur Kathode und welches zur Anode wird und welches sich als Anode auflöst. Die Spannungsreihe sieht so aus:

Schichten aus edleren Metallen schützen Stahl nur so lange, wie die Überzüge dicht sind. Entsteht an einer Stelle eine Pore oder Beschädigung, so bildet sich ein galvanisches Element, und Stahl wird noch stärker angegriffen, als wenn er überhaupt nicht geschützt wäre. Unedlere Metalle dagegen schützen in zweifacher Hinsicht: als Deckschicht allgemein und im Falle einer Beschädigung durch bevorzugte Auflösung, d. h. als Opferanode. Das Bild 2 zeigt porige Deckschichten von Zink Zn und Zinn Sn im Vergleich.

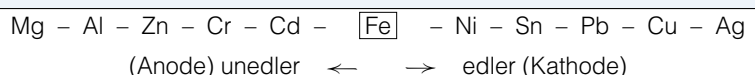
Grundsätzlich schützen alle diese Metalle den Stahl dadurch, dass sie selbst widerstandsfähige Deckschichten, besonders Oxide, bilden. Aber auch diese können unter Umständen undicht werden oder sind gegenüber manchen Korrosionsangriffen nicht beständig. Daraus ergeben sich die bevorzugten Einsatzgebiete der metallisch geschützten Stähle:

- bei atmosphärischen Einflüssen: Zink, Cadmium, Chrom
- in der Nahrungsmittelindustrie: Zinn
- bei starken chemischen Angriffen: Blei, Kupfer, Silber
- bei erhöhter Temperatur: Aluminium
- für dekorative Zwecke: Chrom, Nickel

Nach dem Verfahren, wie die Deckschicht aufgetragen wird, unterscheidet man:

- Schmelztauchen
- Elektrolytisches Metallabscheiden
- Plattieren
- Thermisches Spritzen
- Diffusionsverfahren

Wegen der hohen Temperaturen beim Schmelztauchen bildet sich auf der Stahloberfläche zuerst eine Legierung (Mischkristalle) zwischen Eisen und dem Auftragsmetall, darüber erst das reine Metall. Durch diese chemische Bindung ist die Haftfestigkeit grösser, als wenn nur ein rein mechanisches Verklammern und Verhaken (= Adhäsion) stattfindet. Im folgendem sollen zuerst die industriell wichtigsten Verfahren des Schmelztauchens und elektrolytischen Abscheidens behandelt werden, und zwar nach Metallen geordnet, danach die übrigen Auftragsverfahren.



## Das Verzinken

Das wichtigste Verfahren zum Korrosionsschutz von Stahl durch metallische Überzüge ist das *Schmelztauch- oder Feuerverzinken* (DIN 50975). Dabei wird Stahl kontinuierlich (Band und Draht) oder stückweise (Fertigteile) in beheizte Kessel mit flüssigem Zink getaucht (Schmelzpunkt 419°C).

Von den kontinuierlichen Auftragweisen wird das *Sendzimir-Verfahren* am häufigsten angewendet (s. Bild 3). Dabei wird insbesondere kaltgewalztes Breitband vom Coil abgehaspelt und an das Ende des vorigen Bandes angeschweisst. Um auch während dieser Schweisszeit kontinuierlich tauchen zu können, ist auf dem Wege zum Zinkkessel ein Bandspeicher in Form von Schlingen angebracht. Danach durchläuft das Band einen langen Glühofen, in dessen vorderem oxidierenden Teil Öl- und Schmutzreste entfernt werden und die Stahloberfläche zu einer dünnen Oxidschicht anläuft. In dem folgenden reduzierenden Teil wird diese Schicht von Wasserstoff reduziert, also entfernt und gleichzeitig die Stahloberfläche so aufgelockert, dass Zink gleichmässig und fest haften kann. Durch dieses Glühen wird zugleich die Verfestigung des kaltgewalzten Materials beseitigt, d. h. es findet eine Rekristallisation statt. Hinter dem etwa 450°C heissen Zinkbad wird das Band wieder aufgehaspelt. Die Durchlaufgeschwindigkeit liegt bei ca. 100 m/min.

Typisch für feuerverzinkten Stahl ist die Bildung einer spröden Legierungsschicht, dem Hartzink, das zwar die Haftfestigkeit mit dem Grundmaterial verbessert, aber die Umformbarkeit des Stahles erschwert. Gibt man dem flüssigen Zink jedoch 0,1 bis 0,2% Aluminium zu, so unterbleibt die Legierungsbindung so weit, dass Bleche, Bänder z. B. gut falzbar sind. Höhere Siliziumgehalte im Stahl, wie sie insbesondere durch die Beruhigung entstehen können, fördern die Bildung von Hartzink, so dass unberuhigte Stahlsorten sich problemloser verzinken lassen. Auch bei dickeren Zinkauflagen, bewirkt durch längere Tauchzeiten, ist die Legierungsschicht entsprechend verstärkt.

Die kristalline Erstarrung des Zinks auf der Stahloberfläche führt zur Ausbildung der typischen grossen Zinkblumen (Kenn-

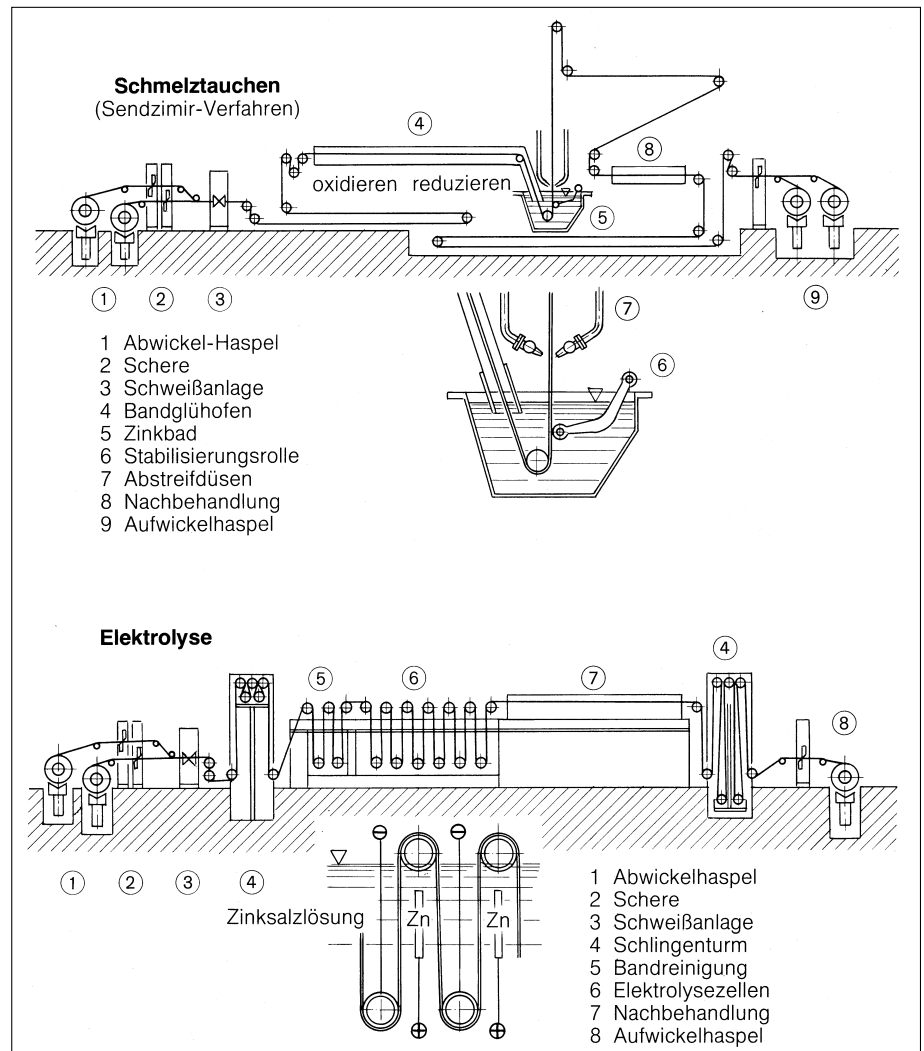


Bild 3: Metallische Schutzschichten

buchstabe N). Bestimmte Zusätze in der Schmelze ergeben kleinere Blumen (M). Durch Nachwalzen kann man sie vollständig zum Verschwinden bringen (S). Diese Unterschiede nach DIN 17162, Feuerverzinktes Band und Blech, sind wichtig im Hinblick auf das glatte Oberflächenaussehen nach einer eventuell folgenden Lackierung.

Die Dicke der Zinkschicht beträgt im allgemeinen 100 bis 600 g/m<sup>2</sup> oder bis 86µm. Viel verwendet werden Bleche mit 275 g/m<sup>2</sup>. Diese Schutzschicht aus Zink ist zwar gegen atmosphärische Einflüsse stabil, wird jedoch von schwefeldioxidhaltiger Industrieluft relativ stark und von Schwitzwasser (= destilliertes Wasser) schon nach kurzer Zeit sehr stark angegriffen. Im letzten Fall bildet sich ein lockeres helles Pulver, Weissrost, das eine Zerstörung der Schicht schon nach einigen Tagen zur Folge hat. Abhilfe ist möglich durch eine dickere Auflage, insbesondere jedoch durch eine Nachbehandlung, z. B. Chromatieren. DIN 50975 gibt die Kurzzeichen an, die je nach der gewünschten Nachbehandlung bei der Bestellung berücksichtigen soll:

Chromatieren = c  
 Phosphatieren = phr  
 Ölen oder Fetten = ft  
 Beschichten mit Kunststoff = k

	Kurzname	Werkstoffnummer	Zugfestigkeit max. N/mm <sup>2</sup>	Bruchdehnung A5, mind. %
Güte I = Grundgüte	St 01 Z	1.0022	—	—
Güte II = Maschinenfalzgüte	St 02 Z	1.0226	500	—
Güte II = Ziehgüte	St 03 Z	1.0350	420	24
Güte IV = Tiefziehgüte	St 04 Z	1.0355	380	29
Güte V = Tiefziehgüte alterungsbeständig	St 05 Z	1.0358	380	29

Tab 1: Feuerverzinktes Band und Blech aus weichen, unlegierten Stählen (nach DIN 17162).

t Zn 275 c bedeutet also: Feuerverzinkt (t = thermisch), 275 g/m<sup>2</sup> Auflage, chromatiert. Das ist eine handelsübliche Kombination. Die Dicke der Zinkschicht zusammen mit der Ausbildungsform des Hartzinks müssen im Hinblick auf eine spätere spanlose Umformung beachtet werden. Bei Feinblech und Band unterscheidet man nach DIN 17162 fünf Güten (s. Tab 1).

Güte St 01Z ist in Zinkauflagen von 100 bis 600 g/m<sup>2</sup> lieferbar, Güte St 02Z bis 350 und die übrigen nur bis 275, um die gute Umformbarkeit zu gewährleisten. Ferner wird St 01Z nicht im nachgewalzten Zustand (S) hergestellt.

Beim Vergleich der mechanischen Eigenschaften mit den Ausgangsmaterialien (kaltgewalztes Band und Blech nach DIN 1623) fallen die erhöhten Werte für Zugfestigkeit und die verringerten Bruchdehnung auf. Massnorm ist DIN 59232.

Die Masse von verzinkten Wellblechen und Stahldachpfannen sind in DIN 59231 zusammengefasst. In DIN 2444 sind die feuerverzinkten Stahlrohre nach DIN 2440, 2441 und 2442 enthalten, d. h. die bevorzugt für Installationszwecke verwendeten Gewinderohre.

*Das elektrolytische Verzinken* wird auch nach DIN 50961 als galvanisches Verzinken bezeichnet, obwohl das in der angloamerikanische Sprache zu Missverständnissen führen kann. Dort ist galvanize = schmelztauchen. Im Deutschen ist weiterhin der Name Elektroplattieren für dieses Verfahren üblich. Dennoch sollte es nicht als eine Sonderform des Plattierens angesehen werden.

Dabei wird das zu verzinkende Stahlteil in eine wässrige Zinksalzlösung, den Elektrolyten, eingetaucht und mit dem Minuspol einer Gleichstromquelle verbunden, d. h. als Kathode geschaltet, während der Elektrolyt die Anode bildet. Aus der Lösung scheidet sich dann Zink auf der Stahloberfläche.

In stark zunehmendem Masse werden Stahlbänder kontinuierlich elektrolytisch verzinkt (Bild 3). Das Verfahren läuft äh-

lich wie nach Sendzimir ab (mit Schweissanlage und Bandspeicher). An die Stelle des Zinkbandes tritt hier die Elektrolysezelle. Zur Aufrechterhaltung eines konstanten Zinkgehaltes im Elektrolyten tauchen Zinkstäbe ein, die sich in dem Masse auflösen, wie sich Zink auf dem Band abschneidet, und die gleichzeitig als Anoden dienen.

Im Vergleich zum feuerverzinkten Stahl unterbleibt hier die Blumenbildung: Die Abscheidung ist so feinkristallin und gleichmässig, dass sich eine matte, graue Schicht bildet. Da der Vorgang bei Raumtemperatur abläuft, findet keine Legierungsbildung statt, so dass die Umformbarkeit des Stahles nicht erschwert wird. Allerdings ist die Haftfestigkeit der Schicht auf dem Grundmaterial nicht so hoch. Deshalb soll die Stahloberfläche leicht aufgeraut sein. Die Schichtdicke ist mit 1 bis 7,5 µm oder 7 bis 54 g/m<sup>2</sup> je Seite wesentlich geringer als beim Feuerverzinkten, wobei 2,5 µm als Normalauflage gelten und die Schichtdicke auf den beiden Seiten von Feinblechen auch unterschiedlich eingestellt werden kann: einseitig und differenzverzinkt. Wegen der geringen Schichtdicke ist das Korrosionsverhalten auf Dauer nicht ausreichend und insbesondere für Aussen-teile nicht allein verwendbar, so dass das Aufbringen weiterer Schutzschichten notwendig ist (Farbaufrag, Einbrennlackierung). In diesen Fällen bietet das elektrolytisch aufgetragene Zink wegen der gleichmässigen, blumenfreien Oberfläche besondere Vorteile als Grundierungsverfahren. Ausserdem löst sich das gegenüber Eisen unedlere Zink in Berührung mit Stahl schneller auf (DIN 50941: Chromatierung von galvanischen Zinküberzügen). Da das elektrolytische Verzinken bei Raumtemperatur durchgeführt wird, können auch gehärtete oder vergütete Stahlteile auf diese Art geschützt werden, ohne dass eventuell störende Anlasswirkungen (Abfall der Festigkeit) zu befürchten wären.

## Das Verzinnen

Schichten aus Zinn ergeben einen guten und hygienisch einwandfreien Korrosionsschutz, der besonders widerstandsfähig gegenüber den verschiedenen Nahrungsmitteln ist. Deshalb wird Feinstblech fast ausschliesslich verzinkt. Es wird dann Weissblech genannt. Verwendung findet es als Konservendosen, Haushaltsgeräte, Teile in der Nahrungsmittelindustrie (Milchkannen, Bäckerei- und Fleischereigeräte), sowie stark zunehmend als Getränkedosen.

Beim Auftragen wird hauptsächlich das elektrolytische kontinuierliche Bandverzinnungsverfahren durchgeführt, während das Schmelztauchen fast nur noch in der Stückverzinnung angewendet wird. Wegen des niedrigen Schmelzpunktes von Zinn (232°C) kann man dabei mit der niedrigen Temperatur von knapp 300°C arbeiten. Die Legierungsschicht aus Fe + Sn ist so dünn, dass sie zwar für eine gute Haftung sorgt, die Kaltumformbarkeit jedoch nicht beeinträchtigt.

Die Oberfläche der feuerverzinten Weissbleche ist immer glänzend, während sie bei der Elektrolyse auch matt eingestellt werden kann.

Da Zinn edler als Eisen ist, muss für dichte und porenfreie Deckschichten gesorgt werden.

Feinstbleche und Weissbleche sind in DIN 1616 genormt; dort sind auch Einzelheiten und Kurzzeichen für die Dicke der Zinnschichten angegeben: einseitig, beidseitig oder differenzverzinkt; 5,6 bis 22,4 g/m<sup>2</sup> oder 0,1 bis 3 µm.

## Das Aluminieren

In zunehmenden Masse wird Stahl, insbesondere als Band, auch aluminieren, und zwar bevorzugt nach dem Schmelztauchverfahren. Dieses Feueraluminieren bei der kontinuierlichen Bandbeschichtung ähnelt dem Sendzimir-Verzinken. Der Aluminiumkessel hat eine Temperatur von 670 bis 700°C (Schmelztemperatur von Al: 660°C). Auch hier entsteht eine spröde Fe-Al-Legierungsschicht, die man durch schnelles Abkühlen so dünn einstellt, dass sie zwar für eine gute Haftung sorgt, die Kaltumformbarkeit

des Stahles jedoch kaum beeinträchtigt. Die Dicke der Schutzschicht beträgt ca. 25 µm oder 150 g/m<sup>2</sup>. Es kann jedoch auch stärker aufgetragen werden.

Aluminium bezieht sich an der Luft spontan mit einer dichten und hochschmelzenden Oxidschicht (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Daraus leiten sich die Eigenschaften des aluminieren Stahles ab: gute Korrosionsbeständigkeit, so dass ein zusätzlicher Schutz im allgemeinen nicht erforderlich ist, und gute Hitzebeständigkeit, kurzzeitig bis etwa 700°C, also bis über den Schmelzpunkt des reinen Aluminiums hinaus. Bei längerer Einwirkdauer diffundiert Aluminium in den Stahl, so dass der Schutz verloren geht.

Die Korrosionsbeständigkeit bleibt auch gegenüber heissen Gasen erhalten. Deshalb sind Al-beschichtete Stahlteile besonders geeignet im Ofenbau, für Auspuffanlagen von Kraftfahrzeugen und ähnlichen. Hier werden zunehmend "Fal-Bleche" (feueraluminieren Bleche) eingesetzt.

## Das Verchromen

Wegen des hohen Schmelzpunktes von Chrom (1930°C) ist das Schmelztauchen nicht möglich. Es wird eine elektrolytische Abscheidung aus Chromsäurebädern vorwiegend auf kontinuierlichen Breitbandlagen durchgeführt, aber auch bei anderen Stahlteilen.

Je nach der eingestellten Schichtdicke unterscheidet man zwei Arten:

- *Glanzverchromung*: sehr dünne (unter 1 µm), hochglänzende Schicht. Da Chrom zur Porenbildung neigt, ist die vorherige Aufbringung einer dickeren und dichten Zwischenschicht aus Nickel oder Kupfer erforderlich.
- *Hartverchromung*: 50 bis 100 µm dick, ohne Zwischenschicht, sehr verschleissfest.

Allgemein zeichnen sich die Chromschichten durch hohe Korrosionsbeständigkeit, dekoratives, silberglänzendes Aussehen und grosse Härte aus. Glanzverchromter Stahl wird z. B. verwendet für Zierteile an Kraftfahrzeugen (Radkappen, Stossstangen), Verpackungsbehältern für aggressive Chemikalien, Fischkonservendosen, Kronenkorken

oder Getränkedosen. Hartverchromter Stahl findet Verwendung z. B. für Kurbelwellen, Zapfen und andere Teile, die verschleissfest sind und wegen ihrer Porigkeit das Schmiermittel gleichmässig aufnehmen, so dass die Reibung vermindert wird.

## Das Verbleien

Diese Schutzschichten werden sowohl im Schmelztauchverfahren als auch elektrolytisch aufgetragen, wobei in Deutschland das Feuerverbleien überwiegt. Dieses Verfahren bietet sich schon deshalb an, weil Blei einen Schmelzpunkt von nur 327°C hat. Dabei entsteht jedoch ein Problem:

Die Haftfestigkeit ist als rein mechanisches Verhaken (= Adhäsion) nur gering, denn Fe und Pb bilden keine Legierung miteinander. Wenn Blei aber abplatzt oder Poren bildet, geht Eisen in Lösung, da Blei edler ist. Aus diesem Grunde geht man beim Feuerverbleien zwei Wege:

- Doppelverbleiung: Nach dem ersten Tauchen wird die Oberfläche aufgeraut; die zweite Schicht kann auch elektrolytisch aufgetragen werden.
- Terne-Verfahren: Zum Bleibad werden 10 bis 25% Zinn zugegeben (-> Terne-Metall).

Beim elektrolytischen Verbleien ist die fehlende Legierungsbildung ohne Bedeutung, dafür tritt aber die Gefahr der Porenbildung auf. Deshalb hilft man sich auf zwei Arten:

- Stahl wird vorher verzinkt
- Es wird Terne-Metall aufgetragen

Das Aussehen der Bleischichten ist unansehnlich dunkelgrau und deshalb für dekorative Zwecke nicht geeignet. Reines Blei ist giftig, bildet jedoch an der Oberfläche schnell eine Karbonatschicht (z. B. an der Luft oder mit Leitungswasser), die aussergewöhnlich widerstandsfähig ist. Die gute Korrosionsbeständigkeit bleibt sogar gegenüber konzentrierter Schwefelsäure oder schwefelhaltigen Rauchgasen erhalten. Aus diesen Gründen werden verbleite Stahlteile bevorzugt in der chemischen Industrie gebraucht, daneben im Kraftfahrzeugbau (Benzinbehälter, Öl- und Luftfilter).

## Andere Metalle und Legierungen

Neben den wichtigsten oben beschriebenen Metallen können im elektrolytischen Verfahren die folgenden metallischen Schutzschichten aufgetragen werden: Nickel Ni, Cadmium Cd, Kupfer Cu, Messing (= Kupfer + Zink), Zinnbronze (= Kupfer + Zinn) und die Edelmetalle Silber Ag, Gold Au, Platin Pt.

Wegen der fehlenden Legierungsbildung ist eine Aufrauung der Stahloberfläche erforderlich. Im Schmelztauchverfahren können diese Deckschichten nicht erzeugt werden, da die Schmelzpunkte zu hoch liegen.

## Das Plattieren

Bei diesem Verfahren wird die metallische Deckschicht im festen Zustand (z. B. als Blech) auf das zu schützende Stahlteil aufgelegt und mit Druck, eventuell auch bei erhöhter Temperatur, verbunden. Auf diese Art gelingt es, porenfreie und fast beliebig dicke Schutzschichten zu erzeugen. Mit dem Grundmaterial Stahl werden z. B. verbunden: nichtrostende und hitzebeständige Stähle, Werkzeugstähle, Kupfer, Nickel, Aluminium, Silber. Nach der Art des Auftragens unterscheidet man:

- *Walzplattieren*: Die zu verbindenden Metalle werden auf Verformungstemperatur gebracht, dabei vor Oxidation geschützt und dann aufeinander gewalzt.
- *Spreng- oder Explosionsplattieren*: Im kalten Zustand werden die zu plattierenden Werkstoffe aufeinander gelegt, darüber wird eine Spengstoff-Folie gezündet. Durch den Druck tritt eine Kaltverschweissung ein.

Während man das erste Verfahren besonders bei Blechen anwendet, vereinigt man auf die zweite Art nicht-walzbare Werkstoffe miteinander z. B. Titan, das bei erhöhter Temperatur eine spröde Legierung bildet, oder die in der Verformungstemperatur weit auseinander liegenden Metalle Stahl und Aluminium.

Die Deckschichten lassen sich sowohl ein- als auch beidseitig oder partiell aufbringen. Ihre Dicke beträgt im allgemeinen mindestens 10 % der Gesamtdicke und selten unter 0,25 mm.



Die Haftfestigkeit ist so hoch, dass die plattierten Stahlteile sich ohne Schwierigkeiten umformen und schweißen lassen, ohne dass eine Trennung der Schichten erfolgt.

Praktisch von besonderer Bedeutung ist das Aufplattieren von hochlegierten Stählen für Behälter, Apparate oder Auskleidungen in der chemischen Industrie, die mechanisch fest und preisgünstig sein sollen. Bei der hohen Warmwalztemperatur besteht dabei die Gefahr, dass Kohlenstoff aus dem Grundmaterial in die Deckschicht von austenitischen Stählen diffundiert und zu interkristalliner Korrosion führt. Eine Abhilfe ist möglich durch stabilisierte Stähle oder Sprengplattieren.

## Das thermische Spritzen (Metallspritzen)

Bei diesem Verfahren wird das aufzutragende Metall in Form von Draht oder Pulver in eine Spritzpistole eingeführt, geschmolzen, mit Druckluft zerstäubt und auf das Stahlteil gespritzt. Je nach der Art, wie die Schmelztemperatur in der Pistole erzeugt wird, unterscheidet man:

- Flamm- oder Autogenspritzpistolen mit Sauerstoff-Azetylen-Flamme.
- Lichtbogenspritzpistolen, in denen der Lichtbogen zwischen zwei Metalldrähten gezündet wird.
- Plasmaspritzpistolen, mit extrem hoher Temperatur von mehreren tausend Grad Celsius, so dass auch sehr hochschmelzende Metalle aufgetragen werden können, z. B. Wolfram, Schmelzpunkt ca. 3400° C.

Die Pistolen können mit der Hand oder auch mechanisch geführt werden. Die Oberfläche des Stahles muss gereinigt, aufgeraut und je nach Schutzmetall auch vorgewärmt sein.

Aufgespritzt werden z. B. Aluminium, Zink, Zinn, Blei, Kupfer, Messing, Zinnbronze, Nickel, Chrom und hochlegierte Stähle.

Die Spritzschicht ist immer etwas schwammartig-porös, so dass eine Nachverdichtung, z. B. durch nachträgliches Aufschmelzen, oder ein zusätzlicher Anstrich oft erforderlich wird.

Angewendet wird das thermische Spritzen besonders bei grossen Teilen, die nicht im Band oder elektrolytisch behandelt werden können, z. B. Masten, Stahlkonstruktionen, Hallen oder bei Ausbesserungsarbeiten.

## Die Diffusionsverfahren

Dabei wird das Überzugsmetall in Pulverform überführt, mit aktivierenden Stoffen versehen, das Stahlteil in diese Mischung getaucht und geglüht. Das Metall diffundiert dann in Abhängigkeit von Zeit und Temperatur in den Stahl ein. Je nach dem verwendeten Überzugsmetall unterscheidet man:

- Alitieren (alter Name: Kalorisieren) mit Aluminium
- Sherardisieren mit Zink
- Inchromieren mit Chrom

Diese Verfahren eignen sich wegen des Glühens in den Öfen besonders für fertig bearbeitete Kleinteile, z. B. Schrauben, Muttern oder Rohrverbindungsstücke. Als Glühofen werden oft Trommeln verwendet. Alitierte Stähle zeichnen sich durch erhöhte Hitzebeständigkeit aus.