

# Oberflächenbeschichtung für Verbindungselemente

Oberflächenüberzüge dienen bei Verbindungselementen in erster Linie dem Korrosionsschutz. Ein zweiter wesentlicher Aspekt ist die Einstellung eines definierten Reibwertfensters, um bei vorgegebenem Anziehdrehmoment eine bestimmte Mindestvorspannkraft zu erreichen. Auch die Optik kann darüber entscheiden, welche Oberflächenveredelung zum Einsatz kommt. Text und Bilder: Ing. Konstantin Matt

Die französische Fassung erscheint in der Ausgabe vom August 2020.

		Zusätzliches Schmiermittel	Versiegelung/Deckschicht	Zusätzliches Schmiermittel
	Konversionsschicht	Konversionsschicht	Konversionsschicht	Konversionsschicht
Metallüberzug	Metallüberzug	Metallüberzug	Metallüberzug	Metallüberzug
Grundmetall	Grundmetall	Grundmetall	Grundmetall	Grundmetall

Abbildung a: Grundlegender Aufbau galvanischer Überzugssysteme.

Die Praxis zeigt immer wieder, dass bei der Auslegung von Schraubenverbindungen grösste Sorgfalt auf die richtige Auswahl von Dimension, Festigkeitsklasse und Schraubensicherung gelegt wird. Dem Oberflächenfinish der Verbindungselemente wird jedoch meist zu wenig Bedeutung beigemessen. Dieser Umstand führt häufig zu frühzeitigen Korrosionsschäden oder Schraubenbrüchen durch Wasserstoffversprödung. Dadurch entstehen aufgrund von Ausfällen der Gesamtkonstruktion oder notwendigem Austausch der Verbindungselemente meist sehr hohe Folgekosten. Im vorliegenden Artikel werden die wesentlichen Beschichtungssysteme in der Theorie erläutert sowie mit praktischen Beispielen veranschaulicht.

## Galvanisch aufgebraute Überzugssysteme nach SN EN ISO 4042

Bei diesem Verfahren handelt es sich um einen sogenannten elektrolytischen Prozess. Das Werkstück dient als Kathode, als Anode kommen je nach Beschichtungstyp verschiedene Zinkelektroden zum Einsatz. Die häufigsten Überzugssysteme sind Zink sowie Legierungen aus Zink-Eisen und Zink-Nickel. Weitere mögliche Überzüge sind Cadmium, Nickel, Chrom, Kupfer, Silber, Zinn sowie deren Legierungen. Zusätzliche Konversionsschichten, Versiegelungen und Deckschichten erhöhen den Korrosionsschutz erheblich und dienen gleichzeitig der Verbesserung der Chemikalienbeständigkeit, mechanischen Festigkeit sowie der thermischen Stabilität. Mit integ-

rierten sowie auch nachträglich aufgebrauten Schmiermitteln kann ein definiertes Reibwertfenster eingestellt werden. Überzüge aus Zink, Zinklegierungen und Cadmium bieten bei Beschädigungen des Überzugs zudem einen kathodischen Schutz. Chrom (VI) ist bereits weitgehend eingeschränkt, daher kommen heute fast ausschliesslich Chrom (VI)-freie Konversionsschichten (Passivierungen) zum Einsatz. Abbildung a zeigt den Aufbau grundlegender galvanischer Überzugssysteme.

Um die Korrosionsbeständigkeit eines Überzugssystems zu bewerten, wird die neutrale Salzsprühnebelprüfung nach SN EN ISO 9227 herangezogen. Diese dient der Überwachung der Prozessstabilität des Galvanikprozesses. Somit muss die Salzsprühnebelprüfung >



Abbildung b: Optisches Erscheinungsbild von verzinkt blau passivierten Verbindungselementen. Das typische Aussehen geht von klar bis bläulich, wobei bläulich von hellblau bis dunkelblau irisierend variieren kann.

Anwendung: galvanisch verzinkte, blau passivierte Schrauben sind ausschliesslich für Innenanwendung vorgesehen. Es gilt, eine direkte Bewitterung zu vermeiden.

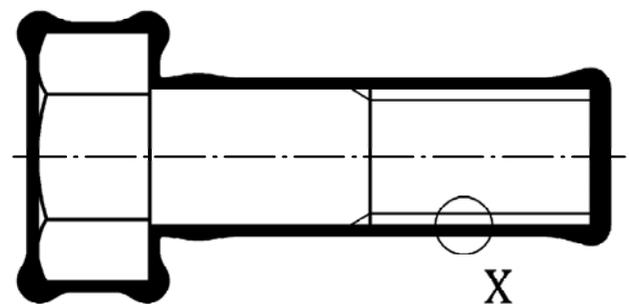


Abbildung c: Schichtdickenverteilung auf einer Sechskantschraube (Quelle: ISO 4042).

		Schmierstoff	Schmierstoff
	Schmierstoff	Deckschicht	Deckschicht
Basisschicht	Basisschicht	Basisschicht	Basisschicht
Grundmetall	Grundmetall	Grundmetall	Grundmetall

Abbildung d: Grundlegende Zusammensetzungen von Zinklamellensystemen.

## WERKSTOFFE

> an Proben im «beschichteten» Zustand durchgeführt werden, d.h. nach Beendigung aller Beschichtungsschritte (einschliesslich Aufbringen einer Versiegelung, Deckschicht oder eines Schmiermittels) und vor den Schüttprozessen wie Sortieren, Verpacken, Transportieren oder Lagern.

Die ISO 4042 unterscheidet bezüglich Korrosionsschutz zwischen Überzugskorrosion (Weisskorrosion) und Grundmetallkorrosion (Rotrost) bei Trommelbeschichtung. Die SN EN ISO 19598 behandelt neben den Korrosionsschutzwerten für Trommelbeschichtung auch noch die Gestellbeschichtung, welche eine höhere Korrosionsschutzdauer ergibt. Verbindungselemente, welche entsprechenden Produktnormen unterliegen, werden standardmässig «verzinkt blau passiviert» hergestellt, umgangssprachlich «blauverzinkt» (siehe Abbildung b). Dieses Überzugssystem garantiert bei einer mittleren Schichtdicke von 5 Mikrometern 48 Stunden gegen Rotrost, bei 8 Mikrometern bereits 72 Stunden. Überzugssysteme aus Zink-Nickel-passiviert garantieren den hochwertigsten Korrosionsschutz – bei 8 Mikrometern Schichtdicke 720 Stunden gegen Rotrost. Bei speziellen Anwendungen werden zinkbasierte Beschichtungen einer Prüfung mit Schwefeldioxid unterzogen (Kesternich-Prüfung).

Die elektrolytische Metallabscheidung hat den Nachteil einer ungleichmässigen Schichtdicke, sprich einer Zunahme der Schichtdicke an Aussenkanten sowie Abnahme der Schichtdicke in Hohlräumen (Gewindegrund, Innenangriffe usw. – vgl. Abbildung c). Lange Teile weisen an den äusseren Enden eine höhere Schichtdicke auf als in der Bauteilmitte. Dieser Umstand wird als Hundeknocheffekt bezeichnet.

**Nichtelektrolytisch aufgebraute Zinklamellen-Überzugssysteme nach SN EN ISO 10683**  
Zinklamellenüberzüge sind nichtelektrolytisch aufgebraute Beschichtungen. Sie können im Trommel- oder Gestellverfahren unter Anwendung des Tauch-Schleuder- oder Sprühprinzips aufgetragen werden. Auch hier können, wie bei galvanischen Beschichtungen, zusätzliche Deckschichten und Schmiermittel aufgebracht werden. Abbildung d zeigt mögliche Zusammensetzungen.

Für die Bewertung des Korrosionsschutzes dient auch hier die neutrale Salzsprühnebelprüfung nach ISO 9227 der Proben im «beschichteten» Zustand (siehe Verfahrensbeschreibung ISO 4042). Bei einer Schichtdicke von 5 Mikrometern beträgt der Korrosionsschutz 480 Stunden ohne Rotrost, bei 8 Mikrometern 720 Stunden. Somit haben Zinklamellensysteme einen wesentlich höheren Schutzwert als handelsübliche galvanische Verzinkungen. Bei speziellen Anwendungen werden die Beschichtungen einer Prüfung mit Schwefeldioxid unterzogen (Kesternich-Prüfung). Abbildung e zeigt das typische optische Erscheinungsbild von Normschrauben mit einem Zinklamellenüberzug. Beim Tauch-Schleuder-Verfahren können je



Abbildung e: Zinklamellenbeschichtung auf Normschrauben.

Anwendung: Zinklamellensysteme weisen einen höheren Korrosionsschutz auf als galvanisch verzinkte Schrauben. Trotzdem sind sie ausschliesslich für Innenanwendungen vorgesehen. Es gilt, eine direkte Bewitterung zu vermeiden.

nach Bauteilgeometrie starke Schwankungen der Schichtdicke entstehen. Speziell in Innenangriffen, Hohlräumen sowie im Gewindegrund können grössere Rückstände entstehen. Daher empfiehlt die Norm für Verbindungselemente mit einer Steigung kleiner als 1 mm (entspricht M5 und kleiner) Absprachen zwischen Lieferant und Kunde betreffend diese Problematik. Sperrige Verbindungselemente mit grossen Durchmesser und Längen werden üblicherweise auf einem Gestell beschichtet, da die Trommelbeschichtung erhebliche Beschädigungen an den Gewindeflanken verursachen würde.

### Feuerverzinkung nach SN EN ISO 10684

Beim Feuerverzinken wird ein Zinküberzug durch Eintauchen in geschmolzenes Zink und anschliessendem Abschleudern auf das Bauteil aufgebracht. Die ISO 10684 beschränkt die Anwendung auf Verbindungselemente aus Stahl mit Regelgewinden von M8 bis M64 sowie Festigkeitsklassen bis 10.9 bei Schrauben und 12 bei Muttern. Jedoch können die Festlegungen in dieser Norm auch auf Teile aus Stahl ohne Gewinde angewendet werden. Zur Feuerverzinkung zählen auch die Stückverzinkung nach SN EN ISO 1461 und die Bandverzinkung nach SN EN 10143 und SN EN 10346 – diese sollen hier jedoch nicht betrachtet werden.

Beim Feuerverzinken nach ISO 10684 wird unterschieden in Verzinken bei Normaltemperatur (455 °C bis 480 °C) und Hochtemperaturverzinken (530 °C bis 560 °C). Die Badtemperatur des Zinks darf nicht zwischen 480 °C und 530 °C liegen. Beim Hochtemperaturverzinken erhält man einen glatteren sowie matten Überzug im Vergleich zum Verzinken bei Normaltemperatur, allerdings dürfen Schrauben der Festigkeitsklasse 10.9 ab der Gewindegrösse M27 und darüber nicht Hochtemperaturverzinkt werden, da Mikrorisse entstehen können.

Abbildung f zeigt HV-Schrauben nach SN EN 14399 mit Verzinkung bei Normaltemperatur.

Beim Feuerverzinken muss die örtliche Schichtdicke mindestens 40 Mikrometer betragen, daher sind zur Gewährleistung der Gängigkeit zwischen Schraube/Mutter besondere Massnahmen erforderlich, sprich die Gewinde müssen mit besonderen Grenzabmassen hergestellt werden, um das notwendige Gewindegewinde zu erreichen.

Dazu gibt es die Möglichkeit, Muttern mit Gewindeübermass (6AZ oder 6A X) oder Schrauben mit Gewindeuntermass in der Toleranzklasse 6az herzustellen. Dabei gilt es zu beachten, dass Muttern mit Gewindeübermass keinesfalls mit Schrauben mit Gewindeuntermass gepaart werden dürfen, da diese Kombination wahrscheinlich zum Abstreifen des Gewindes führt. Für Schrauben mit Gewindeuntermass sowie Muttern mit Gewindeübermass gelten ab der Dimension M12 und grösser die mechanischen Eigenschaften nach ISO 898-1 und ISO 898-2.

Feuerverzinkte Teile müssen frei von Blasen, Flussmittelablagerungen, schwarzen Flecken und Schlackeneinschlüssen sein. Sie dürfen weder blanken Stellen ohne Überzug noch andere Mängel aufweisen, welche die vorgesehene Funktion/Verwendung der Teile beeinflussen könnten. Zur Überprüfung der Haftfestigkeit der Feuerverzinkung gibt es ein definiertes Verfahren, das hier jedoch nicht beschrieben werden soll.

### Brünieren von Bauteilen aus Eisenwerkstoffen nach DIN 50938

Bei diesem Verfahren werden durch Tauchen der Werkstücke in heisse alkalische Salzlösungen gleichmässige, schwarze Überzüge hergestellt. Die dabei entstehende Brünierschicht ist eine thermisch erzeugte schwarze oxidische Umwandlungsschicht. Mögliche Werkstoffe



Abbildung f: Feuerverzinkte HV-Schrauben.

Anwendung: Aussenanwendungen im Stahl- und Metallbau: Hallen- und Industriebauten, Seilbahnanlagen und -stützen, Masten, Hochspannungsmasten, Windenergieanlagen, Brücken etc.

Abbildung g: Brünierte und geölte Schraube.

Anwendung: Beim Brünnieren wird hauptsächlich aus optischen Gründen «optisches Schwarz» verwendet. Anwendung nur im Innenbereich und in nicht aggressiven Medien.

sind Eisenwerkstoffe aus unlegierten und niedriglegierten Stählen sowie Gusseisen. Durch die geringe Dicke der Konversionsschicht von etwa einem Mikrometer bleiben die Werkstücke weitestgehend masshaltig. Vor dem eigentlichen Brünnieren müssen die Oberflächen der Bauteile frei von Fett, Zunder sowie Oxiden und anderen Fremdstoffen sein.

Bei der Brünnierung wird in Abhängigkeit der flächenbezogenen Masse der Brünnierschicht eine Einteilung in drei Verfahrensgruppen gemacht. Es wird unterschieden zwischen Einbad-, Zweibad- und Dreibadbrünnieren, je höher die Badanzahl, desto höher ist auch die flächenbezogene Masse der Brünnierschicht auf dem Bauteil.

Die Badtemperatur beträgt etwa 135 °C bis 145 °C. Bei den Mehrbadverfahren erfolgt zwischen dem Badwechsel jeweils eine Zwischenspülung mit kaltem Wasser. Die Tauchzeiten betragen 5 bis 20 Minuten - abhängig von der Werkstoffzusammensetzung, Konzentration und Temperatur des Bades sowie Art und Beschaffenheit der Bauteile. Nach der Brünnierung erfolgt eine Kalt- sowie anschliessende Heisspülung. Zuletzt erfolgen noch die Trocknung der Bauteile im Ofen bei etwa 120 °C und eine Endkonservierung mit Korrosionsschutzöl.

Nach Normdefinition sollte die Brünnierschicht die Oberfläche des Grundwerkstoffes gleichmässig und vollständig in einheitlicher, möglichst tiefschwarzer Farbtonung bedecken. Durch Überkonzentration oder Verunreinigung der Brünnierlösung hervorgerufene bräunliche oder grünliche Flecken dürfen nicht sichtbar sein. Beim Abwischen der Brünnierschicht mit einem reinen, weissen Tuch dürfen sich keine Abfärbungen zeigen - ausgenommen sind hierbei Gusswerkstoffe sowie gehärtete Bauteile. Abbildung g zeigt eine Brünnierte und geölte Schraube.

Brünnierte Verbindungselemente haben nur einen sehr geringen Korrosionsschutz.

#### Phosphatüberzüge auf Metallen nach SN EN ISO 9717

Beim Phosphatieren werden Bauteile durch Eintauchen in eine Phosphatlösung beschichtet. Fluten oder Besprühen sind weitere mögliche Verfahrenstechniken. Die bedeutendsten Überzugstypen sind Eisen-, Mangan-, Zink- sowie Zink/Calciumphosphate. Aufgebracht werden solche Überzüge hauptsächlich auf Eisenwerkstoffe, Aluminium, Zink und Cadmium mit dem Ziel, eine höhere Korrosionsbeständigkeit zu gewährleisten sowie auch die Haftung von darüberliegenden organischen Beschichtungen zu verbessern. Ein weiterer Vorteil von Phosphatüberzügen besteht in der Verbesserung der Reibungseigenschaften, dadurch werden beispielsweise Kaltumformungsverfahren erleichtert. Ein Nachteil von Phosphatüberzügen ist deren Porosität, dieser kann mit Versiegelungen jedoch entgegengewirkt werden. Eine entsprechende Vorbehandlung der Oberflächen zur Entfernung von Fett, Öl oder Zunder ist obligatorisch.

Nach Normdefinition müssen die Überzüge die Metalloberflächen gleichmässig bedecken und dürfen keine weissen Flecken und Korrosionsprodukte aufweisen. Leichte Schwankungen beim Aussehen der Überzüge stellen keinen Grund zur Beanstandung dar. Je nach Überzugstyp geht das farbliche Aussehen von hellgrau über dunkelgrau bis schwarz.

Ist zwischen Kunde und Lieferant kein Prüfverfahren hinsichtlich Korrosionsprüfung festgelegt, wird die neutrale Salzsprühnebelprüfung nach ISO 9227 herangezogen. Zu erwähnen ist in diesem Zusammenhang der Umstand, dass unbehandelte Phosphatüberzüge keinen Korrosionsschutz bieten - somit wird meist eine Nachbehandlung mit Versiegelungsmitteln, Fetten, Ölen oder Wachs durchgeführt.

Da Phosphatschichten bei Temperaturen über 120 °C beschädigt werden, sind weitere

Beschichtungen wie zum Beispiel Mikroverkapselungen, deren Einbrenntemperatur über 120 °C liegt, kritisch zu betrachten.

#### Passivierung von Verbindungselementen aus nichtrostenden Stählen nach SN EN ISO 16048

Rostfreie Stähle haben nach SN EN ISO 3506-1/4, unabhängig von der Stahlgruppe (austenitisch, martensitisch, ferritisch), einen Chromanteil von mindestens 10,5%. Durch den Kontakt mit Sauerstoff aus den umgebenden Medien bildet sich auf der Stahloberfläche eine sehr dünne, transparente Passivschicht aus Chromoxid. Wird die Oberfläche mechanisch beschädigt, bildet sich diese Passivschicht unter dem Einfluss von Sauerstoff selbstständig neu - man spricht vom sogenannten Selbstheilungseffekt.

Beim Einsatz von Edelstahl in sauerstoffarmen und sauerstofflosen Umgebungen kann sich kein neues Chromoxid bilden (keine Repassivierung möglich) und der Werkstoff ist somit ungeschützt. Durch Passivierung von Edelstahl kann der Oxidfilm um eine Dicke von etwa 0,002 Mikrometern erhöht werden. Vor der eigentlichen Passivierung erfolgt das Beizen. Dadurch sind die Teile entfettet bzw. chemisch rein. Gebeizt wird je nach Stahlgruppe in Salpetersäure oder Schwefelsäure für eine Dauer von 5 bis 30 Minuten bei einer Badtemperatur von 20 °C bis 80 °C. Nach dem Beizen erfolgt die eigentliche Passivierung in Salpetersäure. Die Passivierungsdauer liegt zwischen 10 und 30 Minuten, die Badtemperatur beträgt zwischen 15 °C und 40 °C. Nach Norm gibt es aktuell kein bekanntes Prüfverfahren zum Nachweis der aufgetragenen Oxidschicht, dies ist durch das Qualitätssicherungssystem des Herstellers nachzuweisen.

Weitere Informationen: [www.sfs.ch](http://www.sfs.ch) ■