

Galvanische Verfahren

Verbindungselemente mit galvanischen Überzügen nach ISO 4042:2018

Verzinken – Passivieren. Das Verzinken mit anschliessendem Chromatieren hat sich bei Verbindungselementen bezüglich Korrosionsbeständigkeit wie auch im Aussehen sehr gut bewährt. Wir können Ihnen ein umfangreiches und gut assortiertes Lager-sortiment anbieten.

Nachbehandlung Chromatierung bzw. Passivierung. Ist ein Verfahren zur Bildung eines Chromatier- bzw. Passivierungsüberzugs durch Behandlung in einer Lösung, die sechswertige (Chromatieren) oder dreiwertige (Passivieren) Chromverbindung enthält. Diese Nachbehandlung erfolgt unmittelbar nach dem Verzinken durch kurzes Eintauchen in Chromsäurelösungen. Der Chromatierungs- bzw. Passivierungsprozess erhöht den Korrosionsschutz und verhindert Anlaufen und Verfärben der Zinkschicht. Die Schutzwirkung der Chromatschicht ist je nach Verfahrensgruppe unterschiedlich (siehe Tabelle!). Um den Korrosionsschutz zu verbessern ist eine weitere Versiegelung oder Deckschicht möglich.

Die Prozessentwicklungen mit Chrom(VI)-freien Überzügen

gleicher oder ähnlicher Schutzwirkung wurden auf Grund der EU-Richtlinien 2000/53EG (ELV) und 2002/95/EG (RoHS) bzw. 2011/65/EU (RoHS 2) durch Umweltauflagen vorangetrieben. Für den Korrosionsschutz von Verbindungselementen waren früher galvanische Zinküberzüge mit einer Chromatierung auf Basis von Chrom (VI) üblich. Heute ist Cr(VI) weitgehend eingeschränkt. Daher wird empfohlen, ausschliesslich Cr(VI)-freie Konversionsschichten (Passivierungen) für neue Anwendungen zu verwenden.

Die Oberflächenbehandlungen mit Chrom(VI)-freien Systemen (Passivieren) erfordern in der Regel eine aufwändigere Prozessführung da der «Selbstheilungseffekt» in geringerem Umfang stattfindet. Schüttgutbehandlung, automatisierte Prozesse wie Zuführen und/oder Sortieren, Lagerung und Transport können in Abhängigkeit von dem Überzugssystem sowie dem Typ und der Geometrie von Verbindungselementen zu einer Verringerung des Korrosionsschutzes (insbesondere des Schutzes gegenüber Überzugkorrosion) führen.

Richtwerte für die Korrosionsbeständigkeit von gängigen galvanischen Zinküberzügen nach ISO 4042:2018

Die neutrale Salzsprühnebelprüfung (NSS, en: Neutral Salt Spray test) nach ISO 9227 wird angewendet, um die Korrosionsbeständigkeit des Überzugsystems zu bewerten.

Gemäss ISO 4042:2018 ist der beschichtete Zustand definiert als der Zustand nach Beendigung aller Beschichtungsschritte (einschliesslich Aufbringen einer Passivierung, Versiegelung, Deckschicht), ohne dass eine Verschlechterung durch andere Faktoren wie Sortieren, Verpacken, Montieren, Transportieren oder Lagern auftritt.

Zinkbasierte Überzugssysteme	Cr (VI)-frei	Typisches Aussehen	Bezeichnung der Überzugssystem nach ISO 4042:2018	Nennschichtdicke	Mindestdauer der Salzsprühnebelprüfung bei Trommelbeschichtung ^{3) 4)}	
				µm	Weissrost (h)	Rotrost (h)
Zn, transparent- / blau-passiviert	ja	transparent farblos bis bläulich (Standard)	ISO 4042/Zn5/An/T0 ISO 4042/Zn8/An/T0	5 8	8 8	48 72
Zn, dickschicht-passiviert	ja	irisierend (bläulich, gelblich, silber, grünlich)	ISO 4042/Zn5/Cn/T0 ISO 4042/Zn8/Cn/T0	5 8	72 72	120 192
Zn, dickschicht-passiviert, versiegelt	ja	irisierend	ISO 4042/Zn5/Cn/T2 ISO 4042/Zn8/Cn/T2	5 8	120 120	168 240
Zn, schwarz, chromatiert ¹⁾	nein	braunschwarz bis schwarz (dekorativ)	ISO 4042/Zn5/F/T0 ISO 4042/Zn8/F/T0	5 8	12 ²⁾ 24 ²⁾	– 72
ZnNi, irisierend, passiviert	ja	irisierend bläulich-silbergrau	ISO 4042/ZnNi5/Cn/T0 ISO 4042/ZnNi8/Cn/T0	5 8	120 120	480 720

¹⁾ An den Kanten, Kreuzschlitzrändern etc. ist wegen des Trommelverfahrens praktisch immer mit einem Abrieb der schwarzen Chromatschicht und einer örtlichen Sichtbarkeit der darunterliegenden hellen Zinkschicht zu rechnen.

²⁾ Eine geringe Schichtdicke beeinträchtigt die Beständigkeit des Chromatierüberzugs.

³⁾ Mit einem Gestellverfahren wird die Auswirkung einer möglichen Beschädigung des Überzugs verringert und somit kann eine erhöhte Korrosionsbeständigkeit erzielt werden.

⁴⁾ Bei kleinen Gewindeabmessungen können die genannten Werte aufgrund der reduzierte Zinkschichtdicke nach unten abweichen (kein ausreichendes Spiel am Flankendurchmesser um die nötige Schichtdicke aufzunehmen). Siehe auch Obergrenze der Schichtdicken für metrische ISO-Gewinde.

! Verminderung der Gefahr von Wasserstoffversprödung (ISO 4042)

Bei galvanisch veredelten Verbindungselementen aus Stählen mit höheren Zugfestigkeiten oder Härten entsprechend ≥ 360 HV, die unter Zugspannung stehen, besteht die Gefahr des Versagens durch Wasserstoffversprödung.

Eine Wärmebehandlung (Tempern) der Teile, z. B. nach dem Säurebeizen oder nach der Metallbeschichtung, senkt die Bruchgefahr. Eine vollständige Beseitigung der Wasserstoffversprödungsgefahr kann nicht garantiert werden. Wenn das Risiko einer Wasserstoffversprödung verringert werden muss, sollten andere Beschichtungsverfahren in Erwägung gezogen werden.

Für sicherheitsbestimmende Teile sollten daher alternative Korrosionsschutz- oder Beschichtungsverfahren gewählt werden, z. B. anorganische Zinkbeschichtung, mechanische Verzinkung oder ein Übergang auf rost- und säurebeständige Stähle.

Verbindungselemente mit Härten ≥ 360 HV werden, wo fabrikationstechnisch möglich, mit einer anorganischen Zinkbeschichtung oder mechanisch verzinkt ausgeführt.

Der Anwender der Verbindungselemente kennt den Einsatzzweck und die Anforderungen und muss die entsprechende Oberflächenbehandlung spezifizieren!

Obergrenze der Schichtdicken für metrische ISO-Gewinde

nach ISO 4042:2018

Gewinde- steigung	Gewinde- nenndurch- messer ¹⁾	Innengewinde		Aussengewinde					
P	d ₁	Toleranzlage G		Toleranzlage g		Toleranzlage f		Toleranzlage e	
		Grundabmass	Schichtdicke max. ²⁾	Grundabmass	Schichtdicke max. ²⁾	Grundabmass	Schichtdicke max. ²⁾	Grundabmass	Schichtdicke max. ²⁾
[mm]	[mm]	[µm]	[µm]	[µm]	[µm]	[µm]	[µm]	[µm]	[µm]
0,35	1,6	+ 19	4	− 19	4	− 34	8	−	−
0,4	2	+ 19	4	− 19	4	− 34	8	−	−
0,45	2,5	+ 20	5	− 20	5	− 35	8	−	−
0,5	3	+ 20	5	− 20	5	− 36	9	− 50	12
0,6	3,5	+ 21	5	− 21	5	− 36	9	− 53	13
0,7	4	+ 22	5	− 22	5	− 38	9	− 56	14
0,8	5	+ 24	6	− 24	5	− 38	9	− 60	15
1	6	+ 26	6	− 26	5	− 40	10	− 60	15
1,25	8	+ 28	7	− 28	5	− 42	10	− 63	15
1,5	10	+ 32	8	− 32	8	− 45	11	− 67	16
1,75	12	+ 34	8	− 34	8	− 48	12	− 71	17
2	16 (14)	+ 38	9	− 38	8	− 52	13	− 71	17
2,5	20 (18; 22)	+ 42	10	− 42	10	− 58	14	− 80	20
3	24 (27)	+ 48	12	− 48	12	− 63	15	− 85	21
3,5	30 (33)	+ 53	13	− 53	12	− 70	17	− 90	22
4	36 (39)	+ 60	15	− 60	15	− 75	18	− 95	23
4,5	42 (45)	+ 63	15	− 63	15	− 80	20	− 100	25
5	48 (52)	+ 71	15	− 71	15	− 85	21	− 106	26
5,5	56 (60)	+ 75	16	− 75	15	− 90	22	− 112	28
6	64	+ 80	20	− 80	20	− 95	23	− 118	29

¹⁾ Die Angabe der Regelgewindedurchmesser ist nur zur Information. Die entscheidende Grösse ist die Gewindesteigung.

²⁾ Theoretisches minimales Spiel und zugehörige maximale Schichtdicke. Siehe Messstellen/Referenzflächen für die Bestimmung der Schichtdicke.

Korrosionsschutz

Wird vom Besteller keine Schichtdicke vorgeschrieben, so gilt die kleinste (zwischen 3 µm und 5 µm je nach Gewindegrösse). Diese ist zugleich die handelsübliche Schichtdicke.

Bei sehr langen oder dünnen Gewindeteilen ($\leq M4$) können durch die galvanisch bedingte, ungleichmässige Schichtdickenverteilung Probleme mit der Gewindegängigkeit entstehen (Zunahme der Schichtdicke an Aussenkanten und an den äussersten Enden von langen Teilen). Üblicherweise könnten Schrauben mit $l > 5d$ eine örtliche Schichtdicke auf halber Länge von nur einem Drittel bis zur Hälfte haben, verglichen mit der örtlichen Schichtdicke auf den Referenzflächen.

Die Festlegung von dickeren Schichten (um für den Korrosionsschutz eine ausreichende Schichtdicke auf halber Länge einer langen Schraube zu erzielen, üblicherweise 10d bis 15d) könnte zu einer Überbeschichtung an den Gewindeenden führen und beeinträchtigt somit die Verschraubbarkeit und / oder Lehrenhaltigkeit.

Umgekehrt ermöglicht die Festlegung von dünneren Schichten das problemlose Greifen des Gewindes, könnte jedoch zu einer zu geringen Schichtdicke auf halber Länge führen.

Lösungsmöglichkeit: chemische Vernickelung oder Teile aus rost- und säurebeständigem Stahl der austenistischen Gruppe A2 / A4!

i Schraubengewinde werden grundsätzlich in Toleranzlage 6g gefertigt.

Toleranzlagen e und f sind unüblich und verlangen eine veränderte Schraubenfabrikation. Mindestmengen, Lieferfristen und höhere Preise können die Wirtschaftlichkeit in Frage stellen! Alternative: Teile aus rost- und säurebeständigem Stahl A2. Muttergewinde haben aus galvanotechnischen Gründen wesentlich dünnere Schichten. Dies ist jedoch für die Praxis bedeutungslos (Innenseite besser geschützt, Fernschutzwirkung des verzinkten Schraubengewindes).

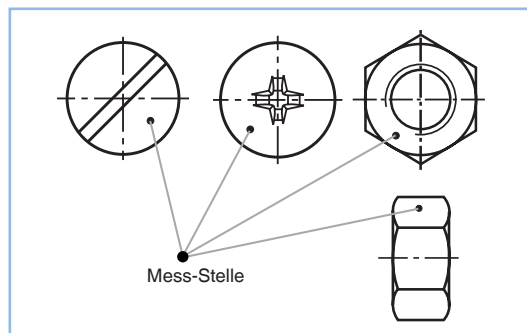
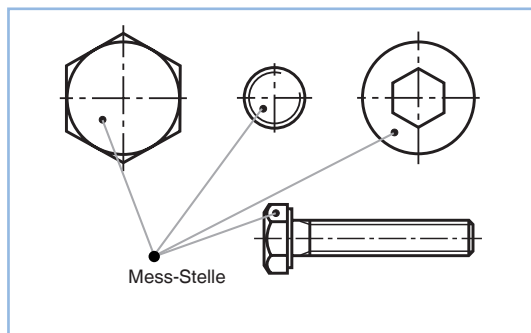
i Beschichtungsstärken am Beispiel M10 Schraube

Zink	5 µm
Passivierung (Standard)	0,05 – 0,1 µm
Dickschichtpassivierung	0,2 – 0,5 µm
Versiegelung	0,5 – 1,5 µm

Mögliche Toleranzanpassungen für Oberflächenüberzüge ISO 10684 (Feuerverzinkung)

Produkt	Gewinde	Toleranz	Beispiel für Headmark
Bolzenschrauben	unterschnitten	6 az	8.8 U
Muttergewinde	überschnitten	6 AZ	8 Z

Messstellen / Referenzflächen für die Bestimmung der Schichtdicke



Korrosionsschutz

Weitere galvanische Beschichtungsverfahren

Verfahren	Erläuterungen
Vernickeln	Dient sowohl dekorativen Zwecken als auch dem Korrosionsschutz. Wegen der harten Schicht Anwendung im Elektroapparatebau sowie in der Telefonindustrie. Speziell bei Schrauben kein Abrieb des Überzuges. Vernickelte Eisenteile sind in Aussenatmosphären nicht zu empfehlen. Verbesserung des Korrosionsschutzes durch Imprägnierung – siehe folgende Tabelle.
Verchromen	Meistens nach dem Vernickeln, Schichtdicke ca. 0,5 – 1,0 µm. Chrom wirkt dekorativ, erhöht die Anlaufbeständigkeit vernickelter Werkstücke und dient auch als Korrosionsschutz. Glanzverchromt: hoher Glanz. Mattverchromt: matter Glanz (Seidenglanz). Trommelverchromung nicht möglich. Erzeugt eine harte Oberfläche mit guten Verschleiss- und Gleiteigenschaften.
Vermessingen	Messingaufträge werden hauptsächlich für dekorative Zwecke angewendet. Ausserdem werden Stahlteile vermessingt, um die Haftfestigkeit von Gummi auf Stahl zu verbessern.
Verkupfern	Wenn notwendig als Haftgrund vor dem Vernickeln, Verchromen und Versilbern. Als Deckschicht für dekorative Zwecke.
Versilbern	Silberaufträge werden zu dekorativen und technischen Zwecken verwendet.
Verzinnen	Die Verzinnung wird hauptsächlich zum Erzielen bzw. Verbessern der Lötbarkeit (Weichlot) angewendet. Dient gleichzeitig als Korrosionsschutz. Thermische Nachbehandlung nicht möglich.
Eloxieren	Durch anodische Oxidation wird bei Aluminium eine Schutzschicht erzeugt, die als Korrosionsschutz wirkt und das Verflecken verhindert. Für dekorative Zwecke können in einem nachfolgenden Färbefahren praktisch alle Farbtöne erzielt werden.
Zink / Eisen Legierungsbeschichtung	Ist ein galvanisches Beschichtungsverfahren, welches in einem Elektrolyten eine Zink-Eisen-Legierung auf ein metallisches Werkstück abscheidet. Im Anschluss an die Beschichtung ist eine Cr(VI)-freie schwarze Passivierung und schwarze Versiegelung angesetzt. Sie kommt vor allem zum Einsatz, wenn eine konforme schwarze Oberfläche gewünscht ist.
Zink / Nickel Legierungsbeschichtung	Bei den Zink-Nickel Überzügen wird ein ca. 12 – 16 % Anteil von Nickel mit abgeschieden während der Galvanisierung. Hier hat man die Möglichkeit, eine transparente oder schwarze Passivierung zu verwenden und das Ganze noch durch eine Versiegelung zu optimieren. Diese Beschichtung kommt vor allem wegen seinem guten Korrosionsschutz zum Einsatz.

Korrosionsschutz

Weitere Oberflächenbehandlungen

Verfahren	Erläuterungen
Feuerverzinken	Tauchen in Zinkbad, dessen Temperatur bei ca. 440 bis 470 °C liegt. Schichtdicken min. 40 µm. Oberfläche matt und rau, Verfleckungen nach relativ kurzer Zeit möglich. Sehr guter Korrosionsschutz. Anwendbar für Gewindeteile ab M8. Gewindegängigkeit durch geeignete Massnahmen (spanabhebende Vor- oder Nachbearbeitung) gewährleistet.
Anorganische Zinklamellen-überzüge Geomet® Delta-Tone® / Delta-Protekt®	Hoch zinkhaltige Beschichtung (silbergraue Farbe) mit hervorragender Korrosionsbeständigkeit für Teile mit höheren Zugfestigkeiten oder Härten entsprechend ≥ 360 HV. Bei diesem Beschichtungsverfahren wird eine wasserstoffinduzierte Versprödung verfahrenstechnisch ausgeschlossen. Temperaturbeständig bis ca. 300 °C. Anwendbar für Gewinde $\geq$ M4.
Mechanisch verzinken (Mechanical Plating)	Chemo-mechanischer Beschichtungsprozess. Entfettete Teile werden zusammen mit einer speziellen Glaskugelmischung und Zinkpulver in eine Platingstrommel gegeben. Die Glaskugeln wirken als Träger der Zinkpulverkörner und bringen diese an die Werkstückoberfläche, wo sie durch Kaltverschweissung haften bleiben.
Schwärzen INOX	Chemisches Verfahren in einer heissen Hydroxidlösung. Für dekorative Zwecke.
Brünieren (Schwärzen)	Chemisches Verfahren, Badtemperatur ca. 140 °C mit anschliessendem Einölen. Für dekorative Zwecke nur temporärer Korrosionsschutz.
Phosphatieren (Bondem, Bonderisieren, Antoxieren, Parkerisieren, Altramentieren)	Nur leichter Korrosionsschutz. Guter Haftgrund für Farben. Aussehen grau bis grauschwarz. Durch nachträgliches Einölen besserer Korrosionsschutz.
Imprägnieren	Vor allem bei vernickelten Teilen können durch eine Nachbehandlung in dewatering fluid mit Wachszusatz die Mikroporen mit Wachs versiegelt werden. Wesentliche Verbesserung der Korrosionsbeständigkeit. Der Wachsfilm ist trocken unsichtbar.
Tempern	Bei galvanisch veredelten Verbindungselementen aus Stählen mit höheren Zugfestigkeiten oder Härten entsprechend ≥ 360 HV, die unter Zugspannung stehen, besteht die Gefahr des Versagens durch Wasserstoffversprödung. Durch Tempern bei ca. 180 bis 230 °C (unterhalb der Anlasstemperatur) kann der Wasserstoff zum Teil beseitigt werden. Nach dem heutigen Stand der Technik bietet dieses Verfahren keine 100 %-ige Gewähr. Tempern während > 6 h muss unmittelbar nach einem Beizen und nach der galvanischen Behandlung erfolgen.
Versiegelung	Die Versiegelung kommt nach dem galvanischen Verzinken und Passivieren mittels Tauchverfahren auf das Bauteil. Versiegelungen erhöhen die Korrosionsbeständigkeit.
Tribologische Trockenbeschichtung ¹⁾	Auftragung bildet reibungsmindernde und verschleisshemmende Schichten. Schutz gegen hohe Reibung oder Kaltverschweissung (Festfressen).
Bewachsen	Gleitschicht, um das Eindrehmoment bei gewindefurchenden Schrauben zu mindern. Nur bedingter Korrosionsschutz resp. Abriebfestigkeit.
WIROX®	Ist eine galvanische Beschichtung mit Zink, mittlere Schichtdicke mindestens 8 µm. Der Korrosionsschutz ist mehr als 20fach höher, verglichen mit blanker Verzinkung. Die Beschichtung ist abriebfest, mechanisch belastbar und zeichnet sich durch eine ausserordentlich hohe Korrosionsbeständigkeit aus.
YELLOX®	Ist eine galvanische Beschichtung mit Zink, mittlere Schichtdicke mindestens 4 µm. Der Korrosionsschutz ist mehr als 6fach höher, verglichen mit blanker Verzinkung. Schrauben-Anwendungen mit gelblicher Erscheinung sind auch künftig gewährleistet.
GreenTec®	Ist eine galvanische Beschichtung, Schichtdicke ca. 5 µm, auf Zink-Nickel Basis und bietet harte, verschleissbeständige Schichten mit sehr hoher Korrosionsbeständigkeit.

¹⁾ Zum Beispiel **CresaCoat®**

Die tribologische Trockenbeschichtung **CresaCoat®** ist ein nicht elektrolytisch aufgetragener, dünn-schichtiger Überzug mit integrierten Schmiereigenschaften und zusätzlichem Korrosionsschutz. Die Beschichtung besteht aus einer Komposition mit Fluorpolymeren und organischen submikroskopischen Festschmierstoffteilchen, die in sorgfältig ausgewählten Kunstharzverschnitten und Lösungsmitteln dispergiert sind. Die AFC-Beschichtung (Anti-Friction-Coating) bildet einen glatten Film, der alle Unebenheiten der Oberfläche ausgleicht und dadurch die Reibung selbst bei extremen Belastungen und Arbeitsbedingungen optimiert. Das Kunstharz wiederum gewährt einen verbesserten Korrosionsschutz.

Welche Beschichtung im Einzelfall die technisch und wirtschaftlich sinnvollste Lösung darstellt, muss in Abhängigkeit der Kundenspezifischen Anwendung und des Einsatzzweckes entschieden werden.