

# Verwendung organischer Additive bei der elektrolytischen Band- und Rohrbeschichtung mit Zink und Zinklegierungen

Von Peter Hülser, Zwingenberg

## 1 Typische Elektrolyte und Additiveinsatz

Wie in der konventionellen Galvanik (Trommel- und Gestellbeschichtung) werden auch bei der kontinuierlichen Band- bzw. Rohrbeschichtung organische Additive zur Beeinflussung der Schichteigenschaften eingesetzt. Ein optimiertes Zeldesign sowie eine hohe Elektrolytbewegung erlauben hierbei deutlich höhere Stromdichten ( $>30 \text{ A/dm}^2$ ), so dass die Verweilzeit im Elektrolyten zur Abscheidung von Schichtdicken bis maximal  $10 \mu\text{m}$  bei Band und  $25 \mu\text{m}$  bei Rohr in der Regel weniger als eine Minute beträgt. Die gewünschten Abscheidungen brauchen in den meisten Fällen nicht dekorativ glänzend zu sein (Ausnahmen gibt es für die Lampen- und Möbelfertigung), da es sich um funktionale Beschichtungen für beispielsweise Karosserie und Bremsleitungen handelt, bei denen es im wesentlichen auf den Korrosionsschutz ankommt. In den meisten Fällen werden die abgeschiedenen Schichten zusätzlich phosphatiert (Karosserie) oder chromatiert (Bremsleitung, Chassis) und anschließend lackiert. Hierfür sind eine definierte Grundrauhigkeit und eine gute Verformbarkeit erforderlich. Dies führt zu einer anderen Additiv- und Elektrolytzusammensetzung als bei den konventionellen Verfahren. Üblicherweise kommen zwei verschiedene saure Elektrolyttypen zum Einsatz (Tab. 1).

Im Chloridelektrolyten werden Additive zugesetzt, um eine Kornverfeinerung zu erzielen sowie den Arbeitsbereich zu vergrößern, indem die Anbrennungsgrenze heraufgesetzt wird. In diesem Elektrolyten werden lösliche Zinkanoden bzw. bei Zink/Nickel-Legierungsabscheidung Zink- und Nickelanoden im entsprechenden Verhältnis eingesetzt. Im Sulfatelektrolyten bei pH-Werten von 2,0 bis 3,0 werden Additive ebenfalls zur Kornverfeinerung eingesetzt und um die Dendritenbildung zu vermindern, da diese aufgrund der schlechteren Leitfähigkeit im Vergleich zum Chloridelektrolyten in verstärkter Masse auftritt. In Elektrolyten mit niedrigeren pH-Werten werden feinkristalline Abscheidungen auch ohne Additive erzielt; hier werden sie hauptsächlich zur Vermeidung von Dendritenwachstum an den Rändern eingesetzt. Bei höheren pH-Werten werden Zinkanoden, bei niedrigen pH-Werten unlösliche Blei- (meist mit geringem Silberanteil) oder mischoxidbeschichtete Titananoden eingesetzt. Da mischoxidbeschichtete Titananoden sehr empfindlich gegen organische Verunreinigungen sind, müssen die Additive auf diese Anoden abgestimmt werden.

Die beschriebenen Zink/Nickel- bzw. Zink/Eisen-Legierungsabscheidungen (Fe: 10 bis 15 %) werden hauptsächlich im Automobilbau, die Nickelabscheidungen in Elektronikbauteilen oder Batterien angewandt.

**Tab. 1: Einsatz von Additiven bei der kontinuierlichen Band- bzw. Rohrbeschichtung in verschiedenen Elektrolyten**

Metallabscheidung	Elektrolyttyp	Additiveinsatz in Prozent
Zink	Chlorid	>90 %
	Sulfat pH <2,0	<10 %
	Sulfat pH >2,0	>90 %
Zink/Nickel	Chlorid	>90 %
	Sulfat	<10 %
Zink/Eisen	Chlorid	>90 %
Nickel	Sulfat	<10 %
	Sulfamat	>90 %

## 2 Funktion organischer Additive

Vor einer jeden Elektrode befindet sich eine Diffusionsschicht, deren Schichtdicke einige Mikrometer beträgt und von der Elektrolytströmung abhängt. In der Diffusionsschicht bewegen sich die Ionen nur mittels Diffusion und Migration, aber nicht durch Konvektion. Enthält der Elektrolyt hohe Konzentrationen an Leitsalzen (Kaliumchlorid, Natriumsulfat etc.), beschränkt sich die Bewegung der abzuscheidenden Ionen hauptsächlich auf die Diffusion. Bei hohen Stromdichten wird die Diffusion damit zum geschwindigkeitsbestimmenden Schritt, was dazu führen kann, dass die Konzentration der abzuscheidenden Ionen an der Elektrodenoberfläche gegen Null geht und eine weitere Erhöhung des Stromes nur noch zur Wasserersetzung führen kann. Diese Stromdichte wird als *diffusionskontrollierte Grenzstromdichte*  $j_{lim}$  bezeichnet und läßt sich mit der Gleichung

$$j_{lim} = z \cdot F \cdot D \cdot c / \delta_n \quad <1>$$

beschreiben, mit:

- z = Wertigkeit des Ions,
- F = Faradaykonstante,
- D = Diffusionskonstante,
- c = Metallkonzentration
- $\delta_n$  = Dicke der Diffusionsschicht.

Um den Beschichtungsprozess wirtschaftlich zu betreiben, ist man bemüht, mit höchstmöglichen Stromdichten ( $j < j_{lim}$ , also immer noch unterhalb der Grenzstromdichte) zu arbeiten, was durch die Einstellung hoher Ionenkonzentrationen ( $c > 1 \text{ mol/l}$ ), hoher Temperatur (50 bis 70 °C) und einem guten Zelldesign (hohe Elektrolytströmung) gelingt. Bei hohen Stromdichten verläuft die Abscheidung der Metallionen bevorzugt an Rauheitsspitzen (Abb. 1), was dort zu Aufwachsungen (sogenannten *Anbrennungen*) führt.

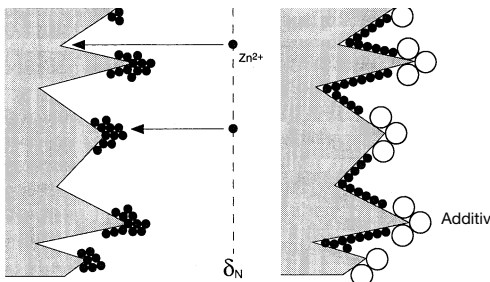


Bild 1: Vorgänge an der Kathode

Ausgewählte organische Additive belegen aufgrund ihrer Polarität (funktionelle Gruppen) ebenfalls bevorzugt diese aktiven Spitzen. Dies führt zu einer Verringerung der Abscheidung und somit zu einer Unterdrückung der Aufwachsungen, darüber hinaus zu einer verstärkten Abscheidung in den Mulden (Abb. 1) und zu einer Einebnung. Organische Additive können auch den Polarisationswiderstand der Metallabscheidung erhöhen, wodurch eine vermehrte Kristallitbildung und damit eine feine kristalline und glattere Abscheidung entsteht. In *Tabelle 2* sind einige typische funktionelle Gruppen aufgeführt, die aufgrund ihrer Polarität mit der Kathode in Wechselwirkung treten.

**Tab. 2: Funktionelle Gruppen typischer organischer Additive**

Funktionelle Gruppe	R, organischer Rest
RSO H	Alkyl, Phenyl, Naphthyl
R-C=S	Alkyl
R-NH	Alkyl, Phenyl
R-COOH	Alkyl, Phenyl
RCHO	Phenyl
R-(O-CH -CH -O)-R	Alkyl, Phenyl

Bei der Verwendung unlöslicher Anoden können aufgrund des positiven Potentials nur schwer oxidierbare Moleküle verwendet werden, bei löslichen Anoden steht eine deutliche größere Bandbreite zur Verfügung. Die folgende Charakterisierung der Abscheidungen mit hohen Stromdichten erfolgte in Chlorid- bzw. Sulfatelektrolyten mit folgenden praxisnahen Elektrolyten:

- *Sulfatelektrolyt:*
  - Zink (als Sulfat) 100 g/l
  - Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> · 10 H<sub>2</sub>O 272 g/l
  - pH 1,7
  - Temperatur 60 °C
- *Chloridelektrolyt:*
  - Zink (als Chlorid) 105 g/l
  - KCl 390 g/l
  - pH 4,8
  - Temperatur 60 °C

Des weiteren wurden die Einflüsse verschiedener Additive (*Tab. 3*) auf die Metallabscheidung in den Elektrolyten getestet.

**Tab. 3: Organische Bestandteile der verwendeten Additive**

Additiv	Organische Bestandteile
SurTec 307	Sulfonate und Thionate
SurTec 312	Aldehyde und verschiedene Zucker
Additiv P	Polyglykole

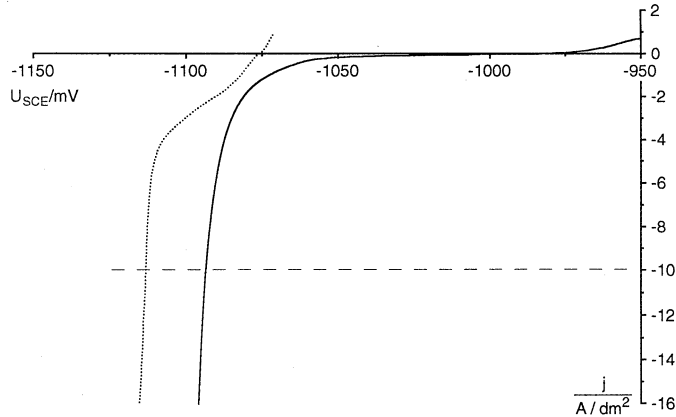


Abb. 2: Strom-Spannungskurve im Sulfat- und Chloridelektrolyten,  $v = 1 \text{ mV/s}$ , kein Additiv, Chloridelektrolyt (punktiert) und Sulfatelektrolyt (durchgezogene Linie)

Im Chloridelektrolyten beginnt die Zinkabscheidung bei negativeren Potentialen als im Sulfatelektrolyten (Abb. 2). Die Überspannung der Zinkabscheidung ist jedoch im Sul-

fatelektrolyten (93 mV bei  $10 \text{ A/dm}^2$ ) höher als im Chloridelektrolyten (35 mV bei  $10 \text{ A/dm}^2$ ). In beiden Fällen beginnt die Abscheidung mit einer verstärkten Wasserstoffbildung (Bereich  $j < 4 \text{ A/dm}^2$ ) und erst nach kompletter Belegung der Oberfläche mit Zink geht diese deutlich zurück, da die Wasserstoffüberspannung auf Zink höher ist als auf Eisen. In den beschriebenen Elektrolyten werden dabei Stromausbeuten von mehr als 95 % erzielt.

Ohne organische Additive führt die höhere Überspannung im Sulfatelektrolyten zu einer deutlich feineren Kristallisation im Vergleich zum Chloridelektrolyten (Abb. 3).

Durch Zugabe eines organischen Additivs, das den Polarisationswiderstand erhöht, kann die Überspannung der Zinkabscheidung im Chloridelektrolyten auf Werte vergleichbar dem Sulfatelektrolyten und höher angehoben werden. Je nach Additivkonzentration kann die Überspannung dabei auf 60 mV bei  $10 \text{ A/dm}^2$  steigen (Abb. 4). Die flache Anfangskurve gibt dabei wie in Abbildung 2 eine verstärkte Wasserstoffentwicklung wieder.

Das führt zu einer feiner kristallinen Abscheidung (Abb. 3 (unten) und 5), die mit der im Sulfatelektrolyten (Abb. 3 (oben)) vergleichbar ist. Das geringfügig erhöhte Abscheidungspotential macht sich bei Zellspannungen zwischen 3 und 10 V nicht bemerkbar; diese sind hauptsächlich auf den Elektrolytwiderstand zurückzuführen und lassen sich durch einen möglichst geringen Anoden-Kathoden-Abstand und eine hohe Leitfähigkeit minimieren.

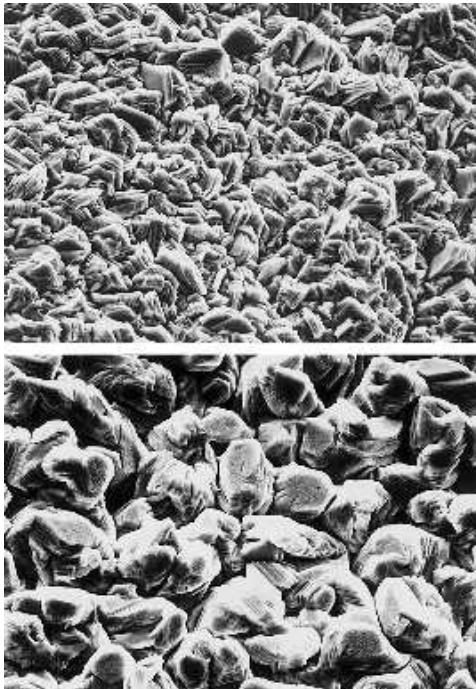


Abb. 3: Zinkschicht (2000-fach), abgeschieden aus einem Sulfatelektrolyten (oben) und aus einem Chloridelektrolyten (unten) jeweils ohne Additive,  $j = 140 \text{ A/dm}^2$ ,  $v = 70 \text{ m/min}$

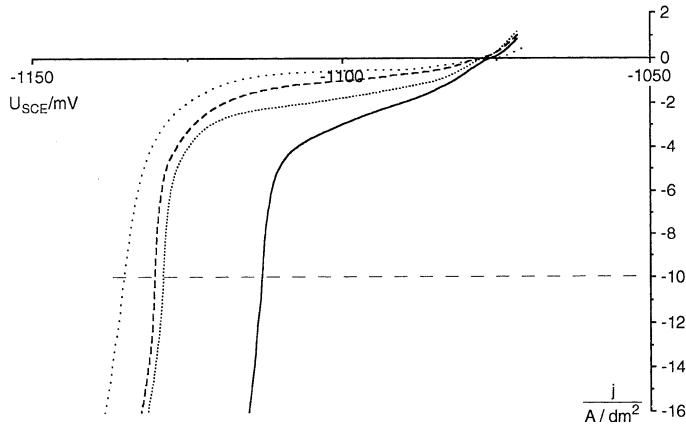


Abb. 4: Strom-Spannungskurve im Chloridelektrolyten unter Variation der Konzentration von SurTec 312,  $v = 1 \text{ mV/s}$ , — kein Additiv, ..... 0,3 ml/l, --- 0,5 ml/l, . . . . 2,0 ml/l

Während im Chloridelektrolyten die Leitfähigkeit deutlich höher ist, führen die dort eingesetzten löslichen Anoden zu einem größeren Anoden-Kathoden-Abstand als im Sulfatelektrolyten, wo zur Minimierung des Widerstands bei den unlöslichen Anoden geringstmögliche Abstände zur Kathode eingestellt werden können.

Der gezeigte Kristallisationstyp im Sulfat (Abb. 3 (unten)) und Chloridelektrolyten (Abb. 5) ist ideal für die weitere Bearbeitung (Verformung, Lackierung) im Karosserie- und Chassisbereich und wird bei der Produktion von verzinktem Stahlblech angestrebt. Kristallisation, Schichtdicke und die Rauigkeit des Basismaterials haben einen signifikanten Ein-



Abb. 5: Zinkschicht (2000fach), abgeschieden aus einem Chloridelektrolyten mit 2,5 ml/l SurTec 312,  $j = 140 \text{ A/dm}^2$ ,  $v = 70 \text{ m/min}$

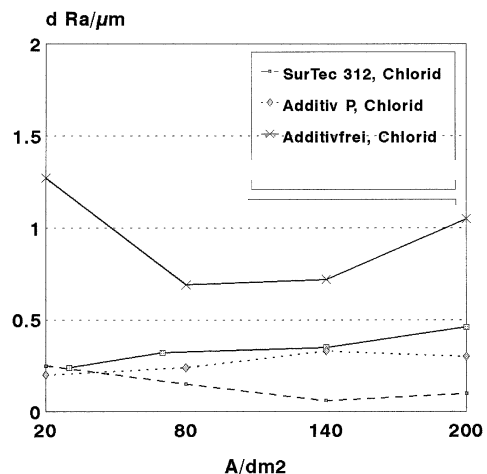


Abb. 6: Rauigkeit in Bezug auf die Stromdichte, SurTec 312 = 4,5 ml/l, Additiv P = 2 ml/l,  $v = 140 \text{ m/min}$ ,  $dRa = dRa(\text{Abscheidung}) - dRa(\text{Basismaterial})$ ,  $dRa(\text{Basismaterial}) = 0,4-0,8 \text{ µm}$

fluss auf die Rauigkeit der abgeschiedenen Zinkschicht. Bei konstanter Schichtdicke und Rauigkeit des Basismaterials führt die grobkristalline Abscheidung des additivfreien Chloridelektrolyten zu einer deutlich raueren Zinkabscheidung im Vergleich zum Sulfatelektrolyten. Durch Zugabe von SurTec 312 wird eine deutlich feiner kristalline und auch glattere Oberfläche erzielt. Diese ist sogar glatter als eine vergleichbare Abscheidung im Sulfatelek-



Abb. 7: Zinkschicht (2000fach), abgeschieden aus einem Sulfatelektrolyten mit 7 ml/l SurTec 307 I, 3 ml/l SurTec 307 II,  $j = 140 \text{ A/dm}^2$ ,  $v = 70 \text{ m/min}$

trolyten, die den technischen Anforderungen aber entspricht. Ein weiteres, großtechnisch verbreitetes Additiv (*Additiv P*) führt im Chlorid-elektrolyten zu einer mit dem Sulfatelektrolyten vergleichbaren Rauigkeit (Abb. 6).

Daraus ergibt sich, dass im Sulfatelektrolyten für glatte Oberflächen (Stahlbänder mit  $dRa = 0,4$  bis  $0,8 \mu\text{m}$ ) polarisierende Additive nicht erforderlich sind; bei rauen Oberflächen (Rohrveredelung,  $dRa$  (Basismaterial)  $> 1 \mu\text{m}$ ) sind sie jedoch notwendig, um eine Einebnung zu erreichen. Die Rauigkeit im additivfreien Chloridelektrolyten ist für den Automobilbereich nicht akzeptabel. Sinnvoll aller-

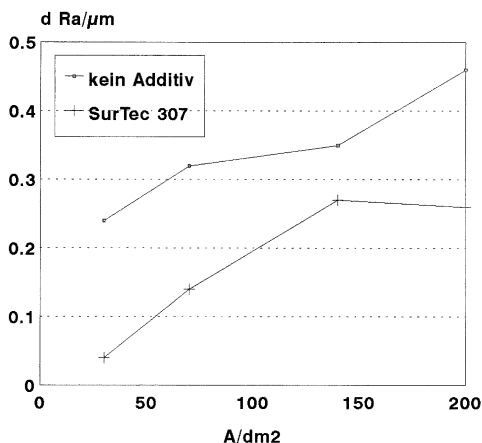


Abb. 8: Rauigkeit in Bezug auf die Stromdichte im Sulfatelektrolyten bei Verwendung von 7 ml/l SurTec 307 I und 3 ml/l SurTec 307 II,  $v = 70 \text{ m/min}$ ,  $dRa = dRa$  (Abscheidung) -  $dRa$  (Basismaterial),  $dRa$  (Basismaterial) =  $0,4$ - $0,8 \mu\text{m}$

dings ist die Zugabe von SurTec 307 zum Sulfatelektrolyten auch bei glatten Stahlbändern zur Verhinderung der Dendritenbildung an den Blechrändern, was als Nebeneffekt auch zu einer gewissen Kornverfeinerung (Abb. 7) und zu einer glatteren, eingebneten Schicht (Abb. 8) führt.

Die Orientierung der Kristallite ist vergleichbar mit der additivfreien Variante und, wie die Praxisanwendung beweist, für die weitere Verarbeitung im Automobilbereich geeignet. Auch beeinflusst die Rauigkeitsverminderung das Beölen und Verformen nicht negativ und bietet darüber hinaus die Möglichkeit, auch rauere Basismaterialien erfolgreich zu verarbeiten.

Wie bereits eingangs erwähnt, spielt neben der Elektrolytzusammensetzung auch die Stromdichte eine entscheidende Rolle bei der Kristallisation. So zeigen Röntgendiffraktogramme einer aus einem Sulfatelektrolyten abgeschiedenen Zinkschicht (Abb. 9, oben) eine starke Änderung der Kristallorientierung zwischen  $30$  und  $70 \text{ A/dm}^2$  und  $140$  und  $200 \text{ A/dm}^2$ . Zwar sind die 002-, 101- und 110-Orientierungen in allen Fällen die bevorzugten, doch schwankt deren prozentualer Anteil untereinander stark. Sogar zwischen  $70$  und  $140 \text{ A/dm}^2$ , einem Bereich, der in der Praxis oft Anwendung findet, lassen sich Unterschiede in der Orientierung feststellen. Die Zugabe von SurTec 307 kann hierbei zu einer gleichbleibenden Orientierung im Stromdichtebereich von  $30$  bis  $140 \text{ A/dm}^2$  führen. Erst bei  $200 \text{ A/dm}^2$  verändert sich die Orientierung der Kristallite (Abb. 9 unten) dramatisch, sie ähnelt nun dem additivfreien Elektrolyten, wobei die 110-Orientierung vorherrscht; Dies macht sich durch ein Kippen der Zinkkristallitbasis um  $90^\circ$  zur Bandoberfläche bemerkbar.

Die Unterschiede in der Kristallorientierung treten optisch als Helligkeitsschwankungen in Erscheinung (Abb. 10). Die Helligkeit (gemessen wird die diffuse Reflexion des Lichtes), nach Hunter  $L^*$ , schwankt dabei zwischen  $30$  und  $140 \text{ A/dm}^2$  um  $5,7$  Einheiten ( $0 = \text{Schwarz}$ ,  $100 = \text{weiß}$ ). Die gleichmäßige Orientierung im selben Stromdichtebereich bei Verwendung von SurTec 307 führt zu einer gleichmäßigen Helligkeit bei Schwankungen unter  $1$  Einheiten. Erst bei sehr hohen Stromdichten ( $j = 200 \text{ A/dm}^2$ ) sind die Orientierung und somit die Helligkeit wieder vergleichbar dem additivfreien Elektrolyten.

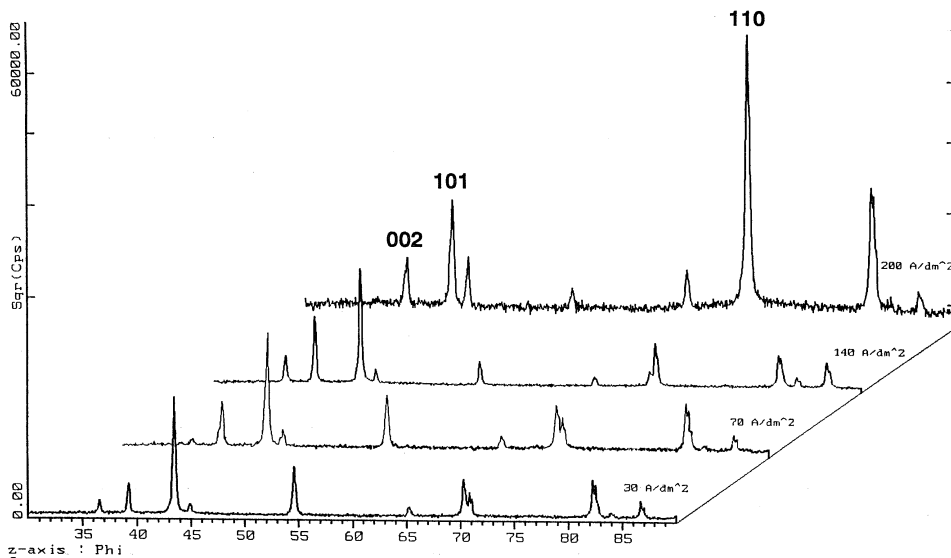
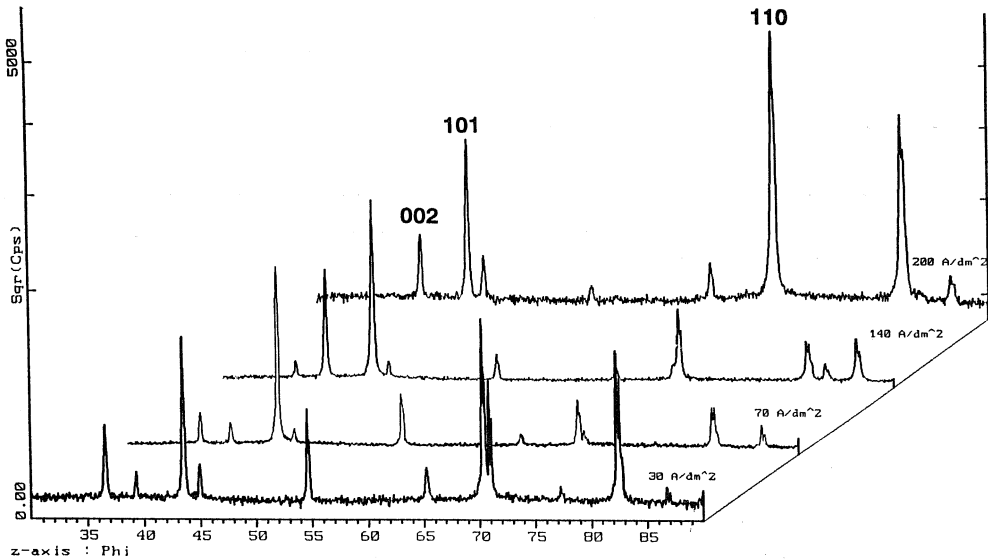


Abb. 9b: Orientierung der Zinkkristallite im Sulfatelektrolyten ohne Additiv (oben) und mit 7 ml/l SurTec 307 I und 3 ml/l SurTec 307 II (unten),  $v = 70 \text{ m/min}$

In der Praxis sind die Elektrolyte mit vielerlei Fremdmetallen (Fe, Ni, Pb, Cd, Mo, Cr, etc.) verunreinigt. Diese Verunreinigungen können die Abscheidung bezüglich Kristallisation, Helligkeit und Rauigkeit mit und ohne Additiv nachhaltig beeinflussen. Generell empfiehlt es sich, die Konzentration der Verunreinigungen niedrig zu halten. Dies geschieht am besten durch Auswahl geeigneter Rohstoffe

und Verwendung hochreiner Anoden; Eisen und Blei werden aus dem Elektrolyten auch mittels Ionenaustauscher (Eisen) oder Zugabe von Strontiumcarbonat (Blei) entfernt. Wo Vermeidung oder Entfernung von Fremdmetalverunreinigungen nicht möglich ist, muss der Einfluss dieser Verunreinigung untersucht und das Additiv nach Möglichkeit darauf eingestellt werden.

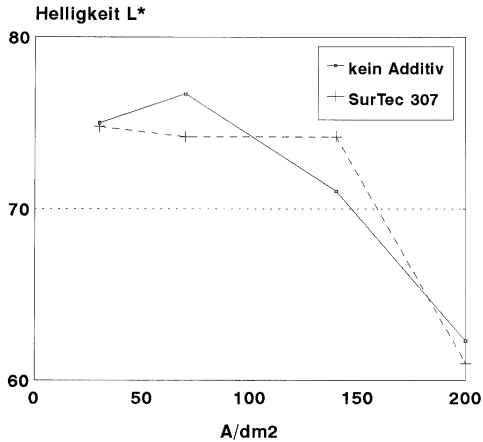


Abb. 10: Helligkeit der Zinkschichten in Bezug auf die Stromdichte im Sulfatelektrolyten, 70 m/min, 7 ml/l SurTec 307 I, 3 ml/l SurTec 307 II

### 3 Randanbrennungen, Dendritenproblematik

Die Stromdichteverteilung auf einem Stahlband variiert mit der Bandbreite, der Anodenbreite, der Elektrolytleitfähigkeit sowie dem Anoden-Kathoden-Abstand. Anodenbreite, Leitfähigkeit und Anoden-Kathoden-Abstand sind meistens festgelegt, nur die Bandbreite kann variieren. Dabei stellen sich besonders bei schmalen Bändern an den Rändern deutlich höhere Stromdichten als in der Mitte ein. Dies führt im Chloridelektrolyten zu einem verstärkt knospenförmigen Zinkwachstum (Abb. 11). Im Sulfatelektrolyten ist dies aufgrund

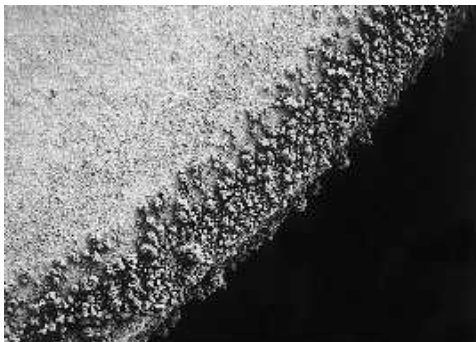


Abb. 11: Zinkschicht mit knospenförmiger Abscheidung am Bandrand (400fach) abgeschieden aus einem Chloridelektrolyten ohne Additiv,  $j = 200 \text{ A/dm}^2$ ,  $v = 70 \text{ m/min}$

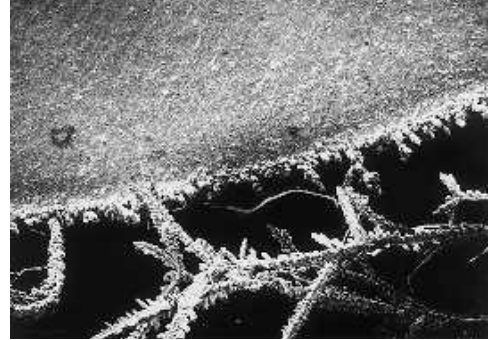


Abb. 12: Zinkschicht mit dendritischer Abscheidung am Bandrand (400fach), abgeschieden aus einem Sulfatelektrolyten ohne Additiv,  $j = 200 \text{ A/dm}^2$ ,  $v = 70 \text{ m/min}$

seiner schlechteren Leitfähigkeit noch dramatischer, wodurch es zur Bildung von nadelförmigen Dendriten kommt (Abb. 12). Während im Chloridelektrolyten die knospenförmigen Aufwachsungen meist nur eine optische Beeinträchtigung des Randbereiches darstellen, führen die Dendriten aus den Sulfatelektrolyten zu massiven Störungen. Beide Abbildungen zeigen Laborproben; In der Praxis treten die Dendrite und knospenförmigen Aufwachsungen schon bei deutlich niedrigeren Stromdichten auf. Während des Abscheidungsprozesses brechen die Dendriten ab, fallen in den Elektrolyten oder geraten auf Stromrollen und Umlenkrollen, um von dort auf das Band gepresst zu werden. Des Weiteren geraten die Dendriten beim mechanischen Umformen in die entsprechenden Aggregate, was bei diesen zu Störungen führt. Um dies zu verhindern, werden Kantenmasken eingesetzt, die die Kanten abschirmen und somit das Dendritenwachstum verringern können. Der Einsatz dieser Masken ist aber besonders aufgrund ständig wechselnder Bandbreiten nicht unproblematisch und führt immer wieder zu Schwierigkeiten. Wird die Kantenmaske zu weit über den Rand geschoben, schirmt sie diesen zu stark ab und führt zu einer mangelhaften Abscheidung; Reicht sie zu wenig über den Rand hinaus, ist die Abschirmung mangelhaft und Dendrite bilden sich dennoch. Des Weiteren werden Bandränder abgeschnitten (teilweise auch um die Bandbreiten exakt auf Kundenwünsche einzustellen), was jedoch zu Verlusten und damit zu Einbußen an Produktivität führt, oder die Dendrite werden mechanisch beseitigt. All

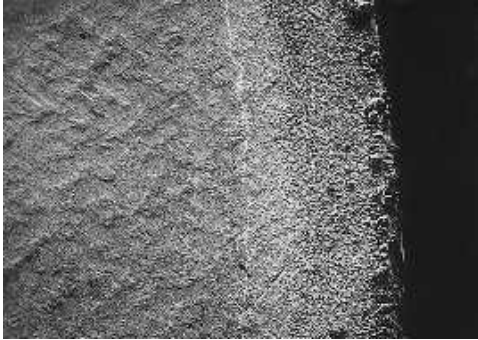


Abb. 13: Zinkschicht mit deutlich verringerter knospenförmiger Abscheidung am Bandrand (400fach), abgeschieden aus einem Chloridelektrolyten mit 2,5 ml/l SurTec 312,  $j = 200 \text{ A/dm}^2$ ,  $v = 70 \text{ m/min}$

das schützt zwar bei der Umformung, kann aber nicht ein Aufpressen auf das Band verhindern.

Additive, die speziell bei hohen Stromdichten und den damit verbundenen negativen Potentialen die Bandränder belegen, führen zu einer deutlichen Verringerung der knospenförmigen Aufwachsungen im Chloridelektrolyten (Abb. 13) bzw. der Dendritenbildung im Sulfatelektrolyten (Abb. 14).

Bei den in *Abbildung 14* benutzten hohen Stromdichten sind noch Ansätze von Dendritenwachstum zu erkennen; In der Praxis zeigt es sich aber, dass ein Dendritenwachstum bei  $130 \text{ A/dm}^2$  und einer Bandgeschwindigkeit von  $25 \text{ m/min}$  in einer Radialzelle durch Zugabe von *SurTec 307* komplett beseitigt werden kann.



Abb. 14: Zinkschicht mit deutlich verringerter Dendritenbildung am Bandrand (400fach), abgeschieden aus einem Sulfatelektrolyten mit 7 ml/l SurTec 307 I und 3 ml/l SurTec 307 II,  $j = 200 \text{ A/dm}^2$ ,  $v = 70 \text{ m/min}$

#### 4 Elektrolytführung und Analytik

Wie hier gezeigt, beeinflussen die Additive die Metallabscheidung in vielfältiger Art und Weise; Auch konnte der signifikante Einfluss der Konzentration (Abb. 4) nachgewiesen werden. So führt eine zu niedrige Dosierung nicht zum gewünschten Resultat, da der Bedeckungsgrad, welcher konzentrationsabhängig ist, eine entscheidende Rolle spielt. Bei zu hoher Konzentration kann es dadurch ebenfalls zu negativen Effekten kommen. Diese sind beispielsweise die Verringerung der Stromausbeute, zu feinkristalline, nicht mehr duktile Abscheidungen und dunklere Zinkabscheidung. Die Additive wirken optimal in einem Konzentrationsfenster, das im laufenden Prozess überwacht werden muss. Dies muss regelmäßig durchgeführt werden, da die Additivkonzentration an der Kathode (Einbau), Anode (Oxidation) sowie durch Verschleppung kontinuierlich verringert wird. Die Kompensierung erfolgt üblicherweise als Zugabe bezogen auf die geflossene Strommenge.

Viele organische Additive sind UV-aktiv und lassen sich leicht mittels UV-Spektroskopie quantitativ bestimmen. Elektrolytverunreinigungen, besonders Eisen, führen hierbei jedoch zu Verfälschungen. Um dies zu umgehen, ist eine HPLC-Analyse unter Verwendung eines UV-Detektors sinnvoll. Hierbei wird die zu bestimmende Substanz in einer Trennsäule von anderen Verunreinigungen getrennt und kann so separat auf ihre Konzentration hin analysiert werden. Besonders elegant ist die cyclische Voltammetrie, da sie eine direkte Bestimmung der Wirksamkeit des Additivs (Abb. 4) zulässt. Hierbei wird der Strom-Spannungs-Verlauf gemessen und durch Zugabe oder Verringerung des Additivs dem Optimum angepasst. Auch das Extrahieren der organischen Bestandteile mittels organischer Lösungsmittel findet in der Praxis Anwendung. Diese Methode verlangt jedoch eine deutlich bessere Löslichkeit der organischen Komponente in einem wasserunlöslichen Medium als in Wasser, was oft nicht gegeben ist.

Wie oben erwähnt, kann die Überdosierung eines Additivs zu negativen Effekten führen. Ebenso kann die Anreicherung von Abbauprodukten in seltenen Fällen Probleme hervorrufen. Als Alternative kann parallel zur Anlage eine Aktivkohlefiltration zur Verringerung bzw. Beseitigung der unerwünschten Komponenten durchgeführt werden.

## 5 Zusammenfassung

Organische Additive werden in der Band- und Rohrbeschichtung erfolgreich eingesetzt, um eine Oberfläche mit definierter Textur und Rauigkeit einzustellen sowie die Anbrennungsgrenze zu erhöhen und damit den Arbeitsbereich zu vergrößern.

Auch in Anwendungsbereichen, in denen bisher Additive kaum Einsatz finden, wie beispielsweise der Verzinkung von Stahlbändern in stark sauren Sulfatelektrolyten, sind sie sinnvoll, um das Dendritenwachstum an den Kanten zu verhindern. Durch Analytik und Badpflege können eventuelle Nachteile der Verwendung organischer Additive sicher vermieden werden.

## Ausbildung wird oft nicht angetreten

Diskussionen über den Ausbildungsstellenmarkt drehen sich meist um die Schwierigkeiten von Jugendlichen, eine Lehrstelle zu finden. Kaum erwähnt wird die Tatsache, dass viele Unternehmen keine geeigneten Azubis finden können. Besonders kleine Betriebe sind von diesem Problem betroffen.

Aus Sicht der Unternehmen sind die wichtigsten Gründe mangelnde Qualifikation der Bewerber und der Umstand, dass viele Jugendliche ihre Ausbildung nicht antreten. -hk/dir-

Grafik/Text: imu-Infografik  
Quelle: Institut der deutschen Wirtschaft (IW)

