

Rolf Jansen und  
Patricia Preikschat, Trebur

# Cyanidfreie alkalische Verzinkung

Neue Konzepte

*Cyanidfreie alkalische Zinkelektrolyte belegen lediglich einen geringen Marktanteil. Dies liegt an der bekannten Gelbstichigkeit, der verzögerten Flitterbildung, der geringen Abscheidungsgeschwindigkeit und der Schwierigkeit, die Additive analytisch zu erfassen. Zur Problemlösung wird ein umfassendes Konzept vorgeschlagen, das inerte Anoden, katalytische Lösekörbe und neue Ansätze für die Badkontrolle umfaßt.*

**Cyanide-Free Alkaline Electroplating.** *New Concepts. Cyanide-free alkaline zinc electrolytes occupy only a small share of the market. This is attributable to their well-known characteristic yellowing, delayed flaking effect, low deposition rate and difficulty in detecting the additives analytically. To resolve these problems, a comprehensive concept is proposed which embraces inert anodes, catalytic solution baskets and new approaches to bath checking processes.*

Der Ruf von cyanidfreien alkalischen Zinkelektrolyten ist schlecht, obwohl sie ungiftig, wenig korrosiv, insgesamt niedrig dosiert und damit kostengünstig sind (Tabelle 1). Das liegt an häufig auftretenden, gravierenden Problemen mit der Chromatierbarkeit, der Haftfestigkeit des abgeschiedenen Zinks und daraus resultierenden Schwierigkeiten mit der Badführung des Zinkbades.

## Probleme mit der Chromatierbarkeit

Für eine schlechte Chromatierbarkeit von Zinkschichten sind vor allem zwei Ursachen verantwortlich: der Einbau von Fremdmetallen in die Zinkschicht und die Überdosierung der Glanzzusätze. Beides läßt sich nur ungenügend durch Einstellen der Chromatierung selbst korrigieren.

Fremdmetalle werden entweder ins Zinkbad eingeschleppt oder lösen sich aus den Anoden beziehungsweise den Teilen auf. Das wohl wichtigste Fremdmetall ist dabei das Eisen. Ältere alkalische cyanidfreie Zinkelektrolyte enthalten häufig mehr Eisen als gängige Zink/Eisen-Elektrolyte. Das Eisen wird in die Zinkschicht eingebaut und es entstehen die bekannten Fehlfarben der Chromatierungen: gelbstichige Blautöne und stark irisierende Gelb- und Schwarzchromatierungen. Ferner neigen fremdmetallhaltige Zinkschichten, wie von Zinklegierungsschichten allgemein bekannt, zur Passivität.

Diese Fehler werden mit Reinigungslösungen bekämpft, die die Fremdmetalle komplexieren oder ausfällen. Könnte man den Eintrag von Fremd-

metallen sicher verhindern, wären die entsprechenden Fehler ausgeschlossen und die nicht unproblematischen Spezialzusätze überflüssig.

Eine Überdosierung von Glanzzusätzen (Inhibitoren) bewirkt zu dünne und damit ebenfalls fehlfarbene Chromat-schichten. Die Additive lassen sich mit herkömmlichen Methoden im Zinkbad nur ungenügend analysieren. Eine Verschiebung der Additivzusammensetzung kann daher nur indirekt an den Fehlern erkannt werden.

## Verzögerte Flitterbildung

Das unangenehmste aller möglichen Probleme ist die verzögerte Flitterbildung. Vorbehandlungsfehler führen sofort zu Rauigkeit, Blasen oder großflächigen Abplatzern; auch der Einbau von Fremdmetallen bewirkt umgehend sprödere Schichten. Sieht am Tag der Verzinkung noch alles einwandfrei aus und übersteht die Schicht sogar eine Wärmebehandlung bis 200°C, aber es zeigen sich dann nach einigen Tagen oder gar Wochen Flitter, so spricht man von verzögerter Flitterbildung. Diese entstehen durch – mit der Lagerzeit anwachsende – innere Spannungen, deren Hauptursache in der (unbeabsichtigten oder auch gar nicht zu verhindernden) Fehldosierung der Additivkomponenten liegt.

Selbst beim Einsatz von Zusätzen, die von Haus aus wenig innere Spannungen erzeugen, ist es notwendig, Verschiebungen in der Zusammensetzung, Abbauprodukte und eingeschleppte Organik unter Kontrolle zu bekommen, um das Phänomen sicher auszuschließen.

Tabelle 1. Konzentrationen der üblichen Verzinkungselektrolyte im Vergleich

		Cyanidfreier alkalischer Elektrolyt	Schwach- bis mittel-cyanidischer Elektrolyt	Schwachsaurer Elektrolyt
Zink	(g/l)	5–15	7–25	20–40
Leitsalz, Komplexbildner, Puffer	(g/l)	110–150	100–170	140–350
Organische Zusätze	(ml/l)	10–30	4–10	30–60

## Wirkungsweise der organischen Zusätze

Im Gegensatz zur cyanidischen Verzinkung, bei der man auch ohne organische Zusätze eine zwar matte, aber einigermaßen gut ausgebildete Zinkschicht erhalten kann, ist eine cyanidfreie alkalische Verzinkung ohne organische Zusätze undenkbar. Die Einflußmöglichkeiten durch organische Zusätze auf die Qualität der abgeschiedenen Zinkschichten gehen weit, es gibt dennoch Grenzen, die es auszuloten gilt.

Als Kriterien für die Abscheidungsqualitäten eines Elektrolyten werden allgemein Anbrennungsgrenze, Metallverteilung, Stromausbeute, Glanz und Glanztiefstreuung herangezogen.

### Anbrennungsgrenze

Zu Anbrennungen, also grobkristallinen, dendritischen bis pulverigen Schichten kommt es, wenn die Abscheidung bei zu hohen Stromdichten erfolgt. Die Anbrennungen markieren somit die obere Grenze des Arbeitsbereiches eines Elektrolyten. Aus elektrochemischer Sicht sind Anbrennungen Abscheidungen im Diffusionsgrenzstrom.

Bild 1 stellt schematisch die Situation an der Metall/Elektrolyt-Phasengrenze bei der kathodischen Verzinkung eines Werkstückes dar. Abgeschiedenes Zink muß aus dem Elektrolytinneren durch Konvektion und Diffusion nachgeliefert werden. Allerdings gibt es selbst bei heftigster Elektrolytbewegung in der Nähe der Phasengrenze immer eine ruhende Flüssigkeitsschicht, die Nernst'sche Diffusionsschicht, in der das Zink nur durch Diffusion transportiert werden kann.

Je steiler das Konzentrationsgefälle in dieser Schicht ist, um so schneller erfolgt der Zinknachschub durch Diffusion. Wie man in Bild 1 leicht erkennt, ist das Gefälle um so steiler, je dünner die Nernst'sche Diffusionsschicht (also je heftiger die Konvektion) und je kleiner die Zinkkonzentration an der Phasengrenze ist. Bei festgelegten Konvektionsverhältnissen ist das steilste Gefälle und damit die maximale Abscheidungsrate erreicht, wenn die Zinkkonzentration an der Phasengrenze null wird. Diesen Fall bezeichnet man als Diffusionsgrenzstrom.

Werkstücke besitzen immer eine gewisse Rauigkeit. Die Diffusionsschicht ist an den Spitzen dünner, das maximale Konzentrationsgefälle daher steiler und die maximale Abscheidungsrate demnach höher als in den Tälern. Für

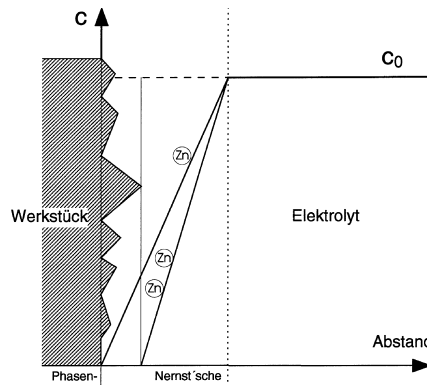


Bild 1. Konzentrationsverläufe an der Phasengrenze bei der kathodischen Verzinkung im Diffusionsgrenzstrom

den Fall also, daß die Abscheidung weitestgehend unter Diffusionskontrolle erfolgt, wachsen die Spitzen zu schnell, und eine zusammenhängende Schicht kann sich nicht ausbilden. Solche Zinkschichten sehen dann aus, als wären sie angebrannt.

Bild 2 zeigt eine Stromspannungskurve in einem cyanidfreien alkalischen Zinkelektrolyten mit einem herkömmlichen Grundzusatz im Vergleich zur Grundkurve im zusatzfreien Elektrolyten. Beginnend bei  $-700$  mV wurde das Potential an der Elektrode bis  $-1700$  mV langsam in negative Richtung und wieder zurück gefahren. Der sich je nach Potential einstellende Strom wurde registriert und aufgetragen. Negative Ströme gehören zu kathodischen Reduktionen und positive Ströme zu anodischen Oxidationen. Die Zinkabscheidung beginnt in beiden Elektrolyten bei etwa  $-1300$  mV. Im zusatzfreien Elektrolyten steigt der zugehörige kathodische Strom rasch an und geht schnell in den Grenzstrombe-

reich (Anbrennungen!) über. Im Elektrolyten mit Grundzusatz steigt der Strom dagegen nur sehr langsam an und zeigt erst ab  $-1650$  mV Grenzstromverhalten. Interessant ist, daß der Grenzstrom in beiden Füllen den gleichen Wert annimmt. Die maximale Abscheidungsrate ist somit in beiden Elektrolyten identisch. Sie hängt nur vom Zinkgehalt und von der Konvektion ab. Der Grundzusatz bewirkt lediglich eine Aufweitung des Potentialbereiches, in dem es keine Anbrennungen gibt, von  $50$  mV auf  $350$  mV.

### Metallverteilung

Die treibende Kraft für einen elektrischen Strom ist eine elektrische Spannung. Bei der kathodischen Verzinkung treibt die Zellspannung den Strom durch die Anoden, den Elektrolyten und die Teile (Kathoden). Je nach Anoden-Kathodenabstand fällt ein mehr oder weniger hoher Anteil der Zellspannung im Elektrolyten ab und nur der Rest steht als Potentialdifferenzen für die Anoden- und Kathodenreaktion zur Verfügung. Auf den Teilen gibt es demnach Bereiche mit niedrigen negativen und solche mit hohen negativen Potentialen, die allgemein als niedriger beziehungsweise hoher Stromdichtebereich bezeichnet werden. Dadurch kommt es zu Schichtdickenunterschieden, der sogenannten Metallverteilung, auf den Teilen.

Geeignete organische Zusätze inhibieren die Zinkabscheidung, das heißt sie erhöhen den kathodischen Polarisationswiderstand  $R_{PK}$ , so daß sich der Elektrolytwiderstand  $R_{EI}$  in der Summe der Widerstände weniger stark auswirkt (Bild 3). Grundzusatz B bewirkt

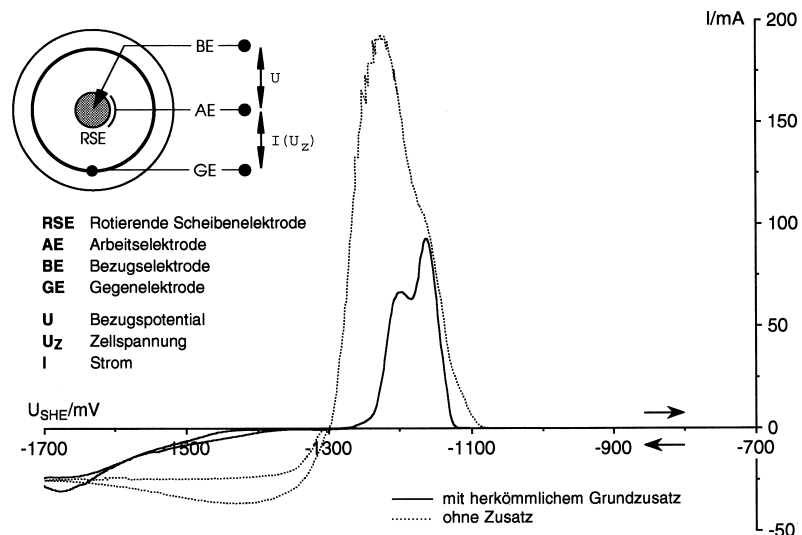


Bild 2. Stromspannungskurve,  $20$  mV/s, rotierende Au-Scheibenelektrode,  $0,196$  cm<sup>2</sup>,  $1600$  U/min, cyanidfreier alkalischer Elektrolyt ( $10$  g/l Zn,  $120$  g/l NaOH)

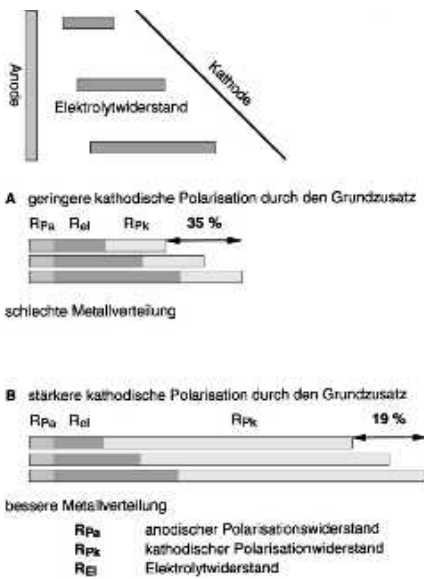


Bild 3. Schematische Darstellung der Beiträge zum elektrolytischen Widerstand in einer Hullzelle

eine höhere kathodische Polarisation als Grundzusatz A. Die Gesamtwiderstände sind damit insgesamt höher, die relativen Unterschiede sind jedoch geringer, was zu einer verbesserten Metallverteilung führt. (In diesem Schema ist nicht berücksichtigt, daß die kathodischen und anodischen Polarisationswiderstände mehr oder weniger stark von der Stromdichte abhängen. Durch diesen Effekt wird die Metallverteilung in subtiler Weise auch durch die Anodenreaktion beeinflusst.) Bild 4 zeigt die Stromspannungskurve in einem cyanidfreien alkalischen Elektrolyten mit einem sehr stark inhibierenden Grundzusatz der neuen Generation im Vergleich zur Stromspannungskurve im zusatzfreien Elektrolyten. Die Zinkabscheidung beginnt wieder bei -1300 mV und gelangt, im Gegensatz zur Kurve mit dem herkömmlichen Grundzusatz in Bild 2 bis -1700 mV, nicht in den Diffusionsgrenzstrom. Dieser wird erst jenseits von -2000 mV erreicht. Der Arbeitsbereich hat sich demnach nahezu verdoppelt. Bei Hullzellentests mit dem neuen Zusatzsystem sind selbst 5-A-Bleche frei von Anbrennungen. Bei dem herkömmlichen Zusatzsystem werden erste Anbrennungen bereits auf 2-A-Blechen sichtbar. Dieser Vergleich sagt jedoch nicht aus, daß sich mit dem neuen System automatisch höhere Abscheidungsraten ergeben, die, wie bereits betont wurde, im wesentlichen von Zinkgehalt und Konvektion abhängen. Vielmehr zeigt das Ergebnis die große Erweiterung des Arbeitsbereiches, das heißt lokale Extremwerte der Strom-

dichte werden gedämpft, so daß sich eine höhere mittlere Stromdichte einstellen läßt, ohne daß im hohen Stromdichtebereich Anbrennungen auftreten.

Eine weitere positive Eigenschaft des neuen Grundzusatzes ist, daß die Geschwindigkeit der Zinkabscheidung in einem weiten Bereich potentialunabhängig ist. Dies erkennt man an dem parallelen Verlauf der Stromspannungskurve im Bereich zwischen -1450 mV und -1700 mV. Dort nimmt der kathodische Polarisationswiderstand mit zunehmendem Potential zu, so daß dieser Grundzusatz zu einer erheblich besseren Metallverteilung führt als die herkömmlichen Zusatzsysteme.

Diese gute Metallverteilung wird von anderen Elektrolyttypen nicht erreicht. Die Unterschiede werden in Bild 5 deutlich. Durch die bessere Metallverteilung wird eine geforderte Mindestschichtstärke schneller erhalten, und gemeinsam mit den höheren anwendbaren Stromdichten kann mit diesen neuen Additiven eine deutlich kürzere Beschichtungszeit erreicht werden.

Der effektive Strom und die damit abgeschiedene Schicht aus derartigen Elektrolyten sind auf dem gesamten Teil sehr viel einheitlicher als bei den alten Systemen. Dadurch ist das Arbeitsfenster größer, die Badführung einfacher und das Risiko für verzögerte Flitterbildung wesentlich geringer.

**Stromausbeute**

Bei zu starker Inhibierung der Zinkabscheidung besteht die Gefahr, daß die konkurrierende Wasserstoffentwicklung zunimmt, also die Stromausbeute abnimmt. Es gibt organische Zusätze, die auch auf die Wasserstoffentwicklung inhibierend wirken, so daß sich eine gute Metallverteilung auch ohne Einbußen bei der Stromausbeute erzielen läßt.

**Glanz und Glanztiefenstreuung**

Die Abwesenheit von Glanz wird durch die Gegenwart zu großer, im Extremfall mit bloßem Auge sichtbarer Kristallite hervorgerufen. Glanzzusätze inhibieren das Kristallwachstum, aber nur wenig die Keimbildung, so daß viele kleine Kristallite abgeschieden werden und die Schicht glänzt. Das Verhältnis von Kristallwachstums- zur Keimbildungsgeschwindigkeit wird außerdem durch die lokale effektive Stromdichte (Gesamtstromdichte ohne Wasserstoffentwicklung) beeinflusst. Deshalb bewirkt ein Grundzusatz, der für eine gute Metallverteilung (nämlich geringe Schwankungen in der effektiven Stromdichte) sorgt, gleichzeitig eine gute Glanztiefenstreuung, also einen gleichmäßigen Glanzgrad über einen weiten Potentialbereich.

**Problemlösungen**

Um die zu Anfang aufgezeigten Hauptfehlerquellen Fremdmetalleintrag und Steuerung der Additive vollständig in den Griff zu bekommen, ist ein integriertes System aus inerten Anoden, katalytischen Lösekörpern, geänderter Additivchemie und elektrochemischer Badkontrolle erforderlich.

**Inerte Anoden**

Bei der cyanidfreien alkalischen Verzinkung ist die kathodische Stromausbeute höher als die anodische an löslichen Anoden. Um den Zinkgehalt konstant zu halten, kommen daher im allgemeinen neben löslichen Zinkanoden auch „inerte“ Stahlanoden zum Einsatz. Diese Stahlanoden sind jedoch im Gegensatz zur landläufigen Meinung nicht 100 % stabil, auch im alkalischen geht Eisen in Lösung. Komplexbildner, die eine Mitabscheidung und damit Be-

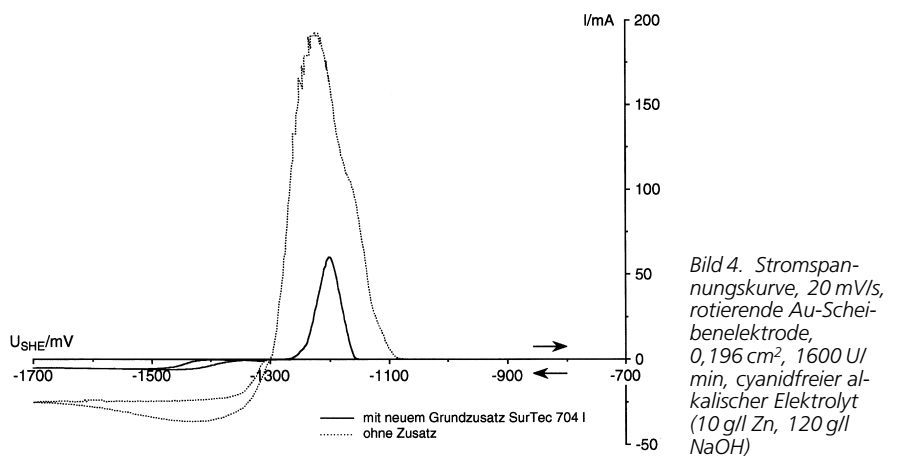


Bild 4. Stromspannungskurve, 20 mV/s, rotierende Au-Scheibenelektrode, 0,196 cm<sup>2</sup>, 1600 U/min, cyanidfreier alkalischer Elektrolyt (10 g/l Zn, 120 g/l NaOH)

schichtungsfehler verhindern sollen, beschleunigen die anodische Eisenauflösung noch zusätzlich.

Werden allerdings Stahlanoden mit geeigneten Inertschichten geschützt, so kann der Eiseneintrag auf Dauer sicher ausgeschlossen werden. Ein alkalischer cyanidfreier Zinkelektrolyt wurde mit 10 g/l Zink, 120 g/l NaOH und einem herkömmlichen, komplexbildnerhaltigen Additivsystem angesetzt und auf 21 × 1,81 verteilt. Im ersten Bad wurde eine Stahlanode und im zweiten Bad eine inert beschichtete Anode mit je 2 A/dm<sup>2</sup> bei 25 °C anodisch belastet. Der Eisengehalt wurde täglich bestimmt (Tabelle 2).

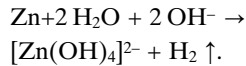
Während an der unbeschichteten Stahlanode kontinuierlich Eisen in Lösung ging, blieb im Bad mit der inerten, beschichteten Stahlanode der Eisengehalt trotz Komplexbildner im Elektrolyten unterhalb der Nachweisgrenze.

Die Zellspannung war beim Start für die inerte, beschichtete Anode etwas ungünstiger und nach relativ kurzer Elektrolysedauer etwa gleich (Tabelle 3). Katalytische inerte Anoden haben von Anfang an eine niedrigere Zellspannung. Beide inerten Anoden bleiben dauerhaft blank und aktiv, während sich auf der Stahlanode Oxidationsprodukte aus dem Elektrolyten abscheiden. An katalytischen inerten Anoden werden die organischen Zusätze in geringerem Maße oxidiert.

**Zinklöseabteil**

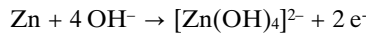
Während in Trommelanlagen das Arbeiten mit gemischten Anoden im Prinzip möglich ist, scheidet dies für Gestellanlagen aus, da es zu einer stark uneinheitlichen Stromverteilung im Bad führt. Theoretisch wäre es möglich, ausschließlich mit Zinkanoden zu arbeiten. In der Praxis ist dies jedoch nicht prozeßsicher, denn bei zu hoher anodischer Stromdichte werden die Zinkanoden passiv. Daher empfiehlt es sich, im Bad ausschließlich mit inerten Anoden zu fahren und das benötigte Zink mittels eines separaten Zinklöseabteiles einzubringen. Solche Löseabteile sind seit längerem bekannt und im Einsatz; oft jedoch ist die Löserate relativ niedrig, die erforderliche Pumpleistung und der Raumbedarf insgesamt entsprechend hoch. Woran liegt das?

Zink löst sich im alkalischen unter Wasserstoffentwicklung auf, weil es in der Spannungsreihe der Elemente negativ vom Wasserstoff steht und ein amphoteres Element ist.

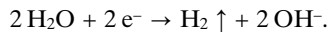


Dabei handelt es sich um eine Redoxreaktion mit einem kathodischen und einem anodischen Teilschritt:

**anodische Oxidation**



**kathodische Reduktion**



Beide Teilreaktionen bedingen einander, sie müssen gleichzeitig mit gleicher Geschwindigkeit ablaufen, also kann die Zinkauflösung nicht schneller sein als die Wasserstoffentwicklung. Zink ist jedoch ein Element mit hoher Wasserstoffüberspannung, die kathodische Wasserstoffentwicklung ist an Zink gehemmt und damit auch die anodische Zinkauflösung. Zink allein würde sich deshalb auch im hochalkalischen kaum auflösen.

Wird Zink dagegen mit einem Metall mit mittlerer oder niedriger Wasserstoffüberspannung in elektrisch leitenden Kontakt gebracht, so kann die Wasserstoffentwicklung an diesem Metall erheblich schneller stattfinden. In herkömmlichen Löseabteilen wird das Zink deshalb in Körben aus Eisen, das eine mittlere Wasserstoffüberspannung aufweist, in den alkalischen Elektrolyten eingehängt.

Wasserstoffkatalysatoren (beispielsweise Platinmetalle) sind als Korbmaterial noch weit besser geeignet als Eisen, wie das folgende Experiment zeigt. In einem 11 Becherglas mit alkalischem Zinkelektrolyt (20 g/l Zn und 170 g/l NaOH) wurde der Strom zwischen einer grobkristallinen Reinstzinkplatte (Anodenzink, Reinheit 99,995 %, 8 cm × 5 cm × 0,8 cm) und einem parallel dazu im Abstand von 1 cm eingehängten Blech (8 cm × 5 cm × 0,2 cm) mittels eines digitalen Multimeters gemessen.

Als Blech wurde im ersten Versuch Stahl ST37 genommen und ein Strom von 4 mA gemessen. Im zweiten Versuch wurde ein mit Wasserstoffkatalysator beschichtetes Stahlblech genommen und ein Strom von 375 mA gemessen.

Die gemessenen Ströme sind entsprechend dem Faraday'schen Gesetz direkt proportional zur Zinkauflösung und Wasserstoffentwicklung. Demnach ist die Auflösung von Zink in elektrischem Kontakt mit dem Wasserstoffkatalysator etwa 100mal schneller als in elektrischem Kontakt mit Eisen. Es steht damit also ein Material zur Verfügung, an dem sich Zink auch in kleinen Löseabteilen in ausreichender Geschwindigkeit auflösen läßt.

**Badführung**

Organische Additive bestehen aus mehreren Einzelsubstanzen, darunter meist Polymere mit statistischer Zusammensetzung, so daß man schon beim Neuanfang von einer großen Zahl unterschiedlicher Moleküle ausgehen muß. Im Laufe des Badalters verschiebt sich die Zusammensetzung der organischen Badbestandteile: Der Einbau in die Schicht und die Oxidierbarkeit an der Anode sind unterschiedlich stark, Abbauprodukte reichern sich an und fremde Organik wird eingeschleppt.

Um den Elektrolyten durch Nachdosieren einzustellen, könnte man versuchen, immer mehr Einzelbestandteile immer besser analytisch zu bestimmen. Dies allein ist schon schwierig, aber mit entsprechendem Aufwand prinzipiell machbar.

Die Schichteigenschaften werden durch das Zusammenwirken aller im Bad enthaltenen Substanzen bestimmt. Um die gewünschten Schichteigenschaften aufrechtzuerhalten ist es also erforderlich, diese Wirkung in ihrer Summe zu messen.

Eine qualitative Art dieser Messung von Summenwirkungen ist die Probe-

Tabelle 2. Änderung des Eisengehaltes im alkalischen Zinkelektrolyt

	Eisengehalt der Zinkbäder in mg/l				
	Start	16 h	40 h	64 h	88 h
Stahlanode	<0,5	2	5	6	7
Inerte Anode	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5

Tabelle 3. Zellspannung in Abhängigkeit von Anodenart und Elektrolysedauer

	Zellspannung in der Hullzelle bei 1 A			
	Start	Aussehen	nach 88 h	Aussehen
Stahlanode	3,70 V	blank	3,88 V	braun-schwarz
Inerte Anode	3,80 V	blank	3,90 V	blank
Katalytische inerte Anode	3,55 V	blank-matt	3,61 V	blank-matt

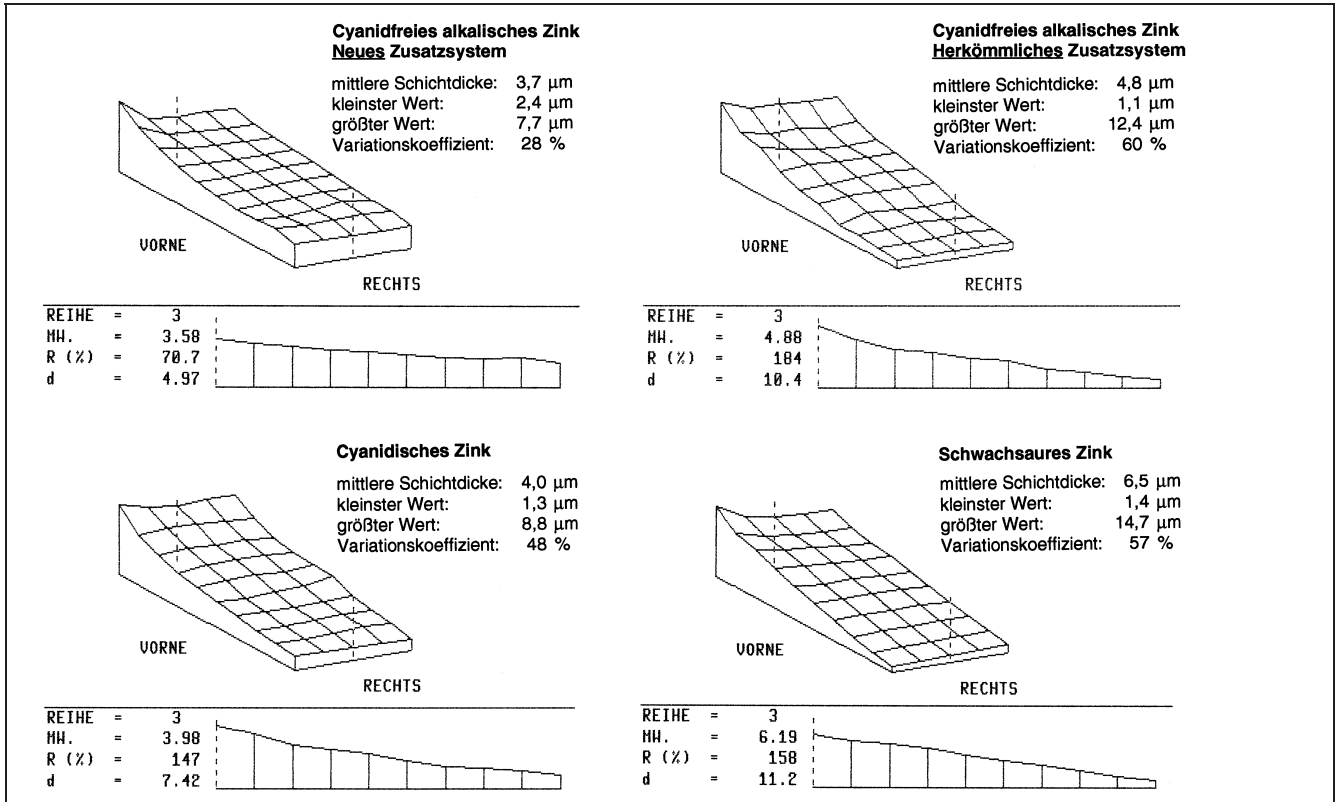


Bild 5. Schichtdickenverteilung verschiedener Elektrolyttypen auf dem Hullzellenblech

abscheidung in der Hullzelle. Eine andere, quantifizierbare Art ist die Aufnahme von Stromspannungskurven an der rotierenden Scheibenelektrode in einer Testzelle. Stromspannungskurven sind ein direktes Maß für die Abscheidungsbedingungen in einem Elektrolyten und ein indirektes Maß für die Konzentration der Badbestandteile; alle Wirkungen gemeinsam sind in der Stromspannungskurve enthalten. Man kann sie daher zurecht als elektronisches Hullzellenblech betrachten. Im Gegensatz zu diesem ist die Stromspannungskurve per Computer auswertbar. Diese Computerauswertung kann dann zur Badkontrolle eingesetzt werden.

Für einen gegebenen Anwendungsfall (Anlage, Teilespektrum, besondere Anforderungen) wird zunächst die Soll-Stromspannungskurve erstellt. Im laufenden Prozeß wird nun der Badzustand anhand der Abweichungen der jeweiligen Ist-Stromspannungskurve von der Soll-Stromspannungskurve kontrolliert und durch Nachdosieren der organischen Additive eingestellt. Dieses Konzept kann zur automatischen Prozeßsteuerung herangezogen werden. Ein entsprechender Prototyp wurde mit leicht erhältlichen Standard-

komponenten im Labor aufgebaut; die Kernroutinen der Meß- und Steuerungssoftware sind programmiert und in Simulationsläufen getestet worden.

### Praxiserfahrungen

In einer Trommelverzinkungsanlage (Badvolumen 9 m<sup>3</sup> × 2 m<sup>3</sup>, 18000 A installierte Gleichrichterleistung, 16 Schichten pro Woche) wurden die inerten Anoden und das Löseabteil wie oben beschrieben realisiert. Nach mittlerweile 15 Monaten Laufzeit enthält das Bad 5 ppm Eisen, 2 ppm Nickel und 1 ppm Chrom. Alle anderen Fremdmetalle sind unterhalb der Nachweisgrenze.

In zwei anderen Anlagen mit separatem Löseabteil konnte mangels ausreichendem Zinknachschub nur mit größeren Unterbrechungen beschichtet werden. Nachdem die Lösekörbe mit dem Wasserstoffkatalysator versehen worden waren, war der Zinknachschub sogar schneller, als für den Dauerbetrieb erforderlich. Es wurden Lösekörbe entfernt. Schließlich konnte durch Umstellung auf die neuen Additive die mittlere Stromdichte gesteigert

und damit die Beschichtungsdauer deutlich verkürzt werden.

### Ausblick

Wenn sich die positiven Auswirkungen der neuen Konzepte weiter bestätigen, wird dies zu einer Rehabilitierung der cyanidfreien alkalischen Zinkelektrolyte und damit zu einer breiteren Anwendung führen. Im Sinne der Materialeinsparung ist die besonders gute Metallverteilung interessant, und mit der elektrochemischen Badkontrolle kann mit geringem Zeitaufwand eine sehr hohe Prozeßsicherheit erzielt werden.

### Die Autoren dieses Beitrags

Dr. Dipl.-Chem. Rolf Jansen, Jahrgang 1961, studierte Chemie an der Universität-GH-Duisburg und promovierte auf dem Gebiet der Elektrochemie. Seit 1993 ist er bei der SurTec GmbH in Treburg tätig und verantwortlich für den Bereich der Galvanotechnik.

Dipl. Ing. Patricia Preikschat, Jahrgang 1959, studierte Chemische Technologie an der FH Fresenius in Wiesbaden. Sie arbeitet seit 1987 in der Galvanotechnik, seit 1993 ist sie technische Geschäftsführerin der SurTec GmbH in Treburg. (100396)