

*Lackdickenmessung an zinkbeschichteten Stahlblechen*

# Messen mit Mikrosonde

**Die Bestimmung der Lackdicke von lackierten oder mit Pulverlack beschichteten Stahlblechen ist eine der häufigsten Messaufgaben bei Pulverbeschichtern oder in Lackierbetrieben. Die Messung ist an sich mit jedem herkömmlichen Schichtdickenmessgerät unter Verwendung sogenannter Fe-Sonden, die nach der magnetinduktiven Methode (ISO 2178) arbeiten, leicht auszuführen. Schwierig wird die Messung erst dann, wenn es sich um Stahlbleche handelt, die zum Schutz gegen Korrosion zusätzlich mit einer Zinkschicht vergütet sind.**

Die Dicke der Zinkschicht kann je nach Herstellungsverfahren und Wunsch des Abnehmers zwischen 2 µm und 150 µm liegen. Innerhalb ein und desselben Bleches schwankt die Dicke der Zinkschicht in der Regel aber um nur wenige µm.

## Messaufgabe

Wird die zur Messung der Lackdicke eingesetzte Fe-Sonde auf dem blanken Stahlblech kalibriert, bei dem außer der Lackschicht zuvor auch die Zinkschicht sorgfältig entfernt wurde, so kann an einer unlackierten Stelle mit einer hochauflösenden Fe-Sonde zunächst die Zinkschichtdicke ermittelt werden. Bei anschließender Messung der Lackdicke des lackierten Bleches wird die Zinkschicht immer mitgemessen. Sofern ihre Dicke durch eine vorangehende Messung bekannt ist, kann sie als konstante Offset-Größe von der am Gerät angezeigten Gesamtschichtdicke abgezogen werden, um dadurch auf die genaue Lackdicke zu schließen. Da die Dicke der Zinkschicht aber in diesem Fall gar nicht die interessierende Messgröße ist, möchte man aus Zeitgründen möglichst auch auf den Aufwand verzichten, sie überhaupt zuvor ermitteln zu müssen. Außerdem besteht erfahrungsgemäß bei der Eingabe von Offset-Größen in Messgeräten immer die Gefahr einer versehentlichen Fehlbedienung, da in nachfolgenden Messungen häufig vergessen wird, die Offset-Größe zu löschen oder zu aktualisieren.

Von Anwendern wird daher oftmals versucht, auf dem mit Zink beschichteten Stahlblech eine Nullpunktkalibrierung der Fe-Sonde vorzunehmen.

Aber dies führt in der Regel nicht zu hinreichend genauen Messergebnissen. Bei Fe-Sonden besteht nämlich gerade im Bereich des Nullpunktes ein so ausgeprägter nichtlinearer Zusammenhang zwischen Schichtdicke und der elektrischen Messgröße, dass ein vollständiges Kompensieren der Offset-Schicht durch das Schichtdickengerät auf diese Weise nahezu unmöglich ist. Obwohl Zink nichtmagnetisch ist und daher der Ver-

such durchaus naheliegend wäre, die Lack-schichtdicke auf einem mit Zink beschichteten Stahlblech mit einer NFe-Sonde zu ermitteln, welche bekanntlich nach der Wirbelstrommethode (ISO 2360) nichtleitende Schichten auf nicht magnetischen Metallen misst, führt auch dies zu keinem zuverlässigen Messergebnis. Dies liegt daran, dass die in Frage kommenden Dicken der Zinkschichten entweder kleiner oder in der Größenordnung der Eindringtiefe der von der Sonde erzeugten Wirbelströme liegen. Das elektrische Signal der NFe-Sonde ist daher sowohl von der Lackschichtdicke als auch in sehr empfindlicher Weise von der Dicke der Zinkschicht abhängig. Die Abhängigkeit des Wirbelstroms von der Metallschichtdicke kann in einer anderen Anwendung - z.B. Kupferleiterbahnen auf Platinen - zwar zur präzisen Messung der Metallschichtdicke ausgenutzt werden. Im vorliegenden Fall einer Duplexschicht (Lack auf Zink) würden jedoch bereits die innerhalb ein und desselben Bleches vorkommenden geringen Schwankungen der Zinkschichtdicke zu Schwankungen der angezeigten Lackschichtdicke führen, die um mehr als eine Größenordnung höher liegen. Eine Messung der Lackschicht ist mit einer NFe-Sonde daher nicht mit der erwünschten Genauigkeit möglich. Zu diesen grundsätzlichen messtechnischen Einschränkungen kommen oftmals noch erschwerende geometrische Randbedingungen hinzu, wenn an fein gelochten oder gerasterten verzinkten Blechen die Lackschichtdicken ermittelt werden sollen. Hier muss der Messfleck der Sonde hinreichend klein sein, um den Einfluss der Seitenränder auf die Messgenauigkeit möglichst klein zu halten. Im folgenden werden daher geeignete Sonden und eine einfach auszuführende Kalibriertechnik beschrieben, mit denen eine präzise und zuverlässige Dickenmessung von Lackschichten auf verzinkten Stahlblechen möglich ist, auch wenn schwierige geometrische Verhältnisse wie bei fein gerasterten Lochblechen hinzukommen.

## Durchführung der Messung

Bild 2 zeigt eine Fe-Mikrosonde, die zur Messung der Lackschichtdicke des dort abgebildeten verzinkten Bleches geeignet ist. Es handelt sich hier um ein pulverlackiertes Lochrastrerblech von 0,7 mm Blechdicke mit 22 % freiem Querschnitt, bei dem der Lochdurchmesser 1,5 mm und der Lochabstand lediglich 3 mm beträgt. Die verwendete Schichtdickensonde ist eine sogenannte "45°



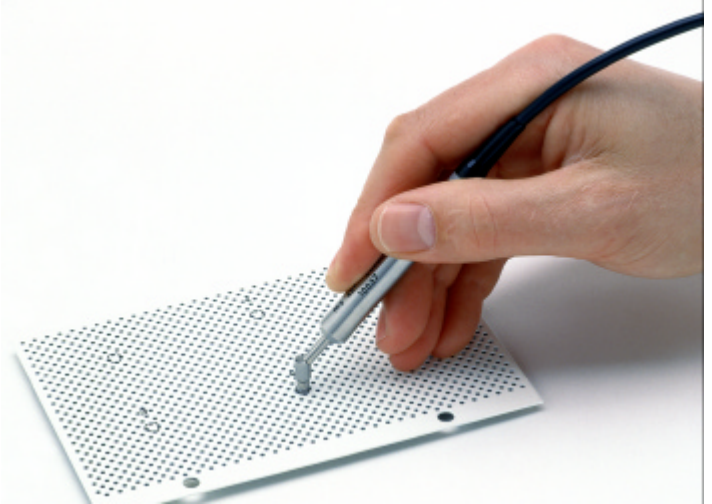
**Bild 1: Leptoskop zur Messung der Schichtdicke**

### DIE AUTOREN

Andreas Kolze und  
Dr. Michael Platte,  
Karl Deutsch GmbH,  
Wuppertal

Mikrosonde". Bei ihr ist der eigentliche Messkopf um 45° gegenüber dem Sondenschaft geneigt, so dass das Messfeld weder vom Sondenschaft noch von der die Sonde führenden Hand verdeckt wird. Der Anwender kann auf diese Weise mit bloßem Auge erkennen, wo der Mittelstift der Sonde das Blech berührt, und ist in der Lage, die Sonde immer genau am vorgesehenen Messfleck in der Mitte des von jeweils vier Löchern gebildeten Quadrats sicher aufzusetzen. Aufgrund der Handlichkeit der Mikrosonde ist es unerheblich, ob sich das zu messende Blech in einer waagerechten Lage oder - z.B. in einem Gehänge - in senkrechter Position befindet. Bei Mikrosonden ist die Ausdehnung des magnetischen Feldes aufgrund ihrer besonderen Bauweise so gering, dass weder die in kürzester Entfernung befindlichen Löcher noch die geringe Blechdicke die Messung beeinflussen. Fe-Mikrosonden besitzen außerdem eine sehr geringe Kippempfindlichkeit und können mit bloßer Hand geführt werden. Im Gegensatz zu NFe-Sonden, die aufgrund ihrer hohen Messfrequenz ein sehr sorgfältiges und exakt senkrecht Aufsetzen des Sondenkopfes erfordern, kann bei Fe-Mikrosonden meistens auf mechanische Positionier- oder Aufsatzhilfen verzichtet werden. Sie stehen lediglich für besonders schwierige Anwendungsfälle zur Verfügung. Bild 1 zeigt das hier verwendete Messgerät, bei dem alle Bedienfunktionen in der Anzeige erscheinen und mit Hilfe von Cursortasten ausgewählt werden können. Entscheidend dafür, ob ein Gerät universell einsetzbar ist und damit ggf. auch anspruchsvollere Messaufgaben gelöst werden können, ist der Umfang der zur Verfügung stehenden Kalibrierfunktionen und deren Wirkungsweise im jeweiligen Gerät. Im vorliegenden Gerät kann der Anwender zwischen einer einfachen Nullpunkt-Kalibrierung, einer Zweipunkt-

**Bild 2: Fe-Mikrosonde zur Messung der Lackschichtdicke an einem pulverlackierten Lochrasterblech**



librierung und einer patentierten (DE 3404720 C2) Kalibrierung auf unbekannter Schichtdicke wählen. Zur Lösung der hier beschriebenen Messaufgabe ist entscheidend, dass die Zweipunkt-Kalibrierung nicht nur zwischen Null - also unbeschichtetem Blech - und einer Schicht bekannter Dicke ausgeführt werden kann, sondern - unter Aussparung des Nullpunktes - auch zwischen zwei Schichten bekannter Dicke.

Das typische Vorgehen beim Messen der Lackschichtdicke auf einem verzinkten Blech ist damit wie folgt: Zu Beginn der Messung wird mit Hilfe von zwei Kalibrierfolien bekannter Dicke an einer unlackierten Stelle des verzinkten Bleches eine Zweipunkt-Kalibrierung durchgeführt, indem nacheinander Kalibrierfolien auf die unlackierte Messstelle aufgelegt werden und die Fe-Mikrosonde darauf aufgesetzt wird. Zum Ausgleich kleinerer Schwankungen beim Positionieren der Sonde und zur Erhöhung der Messgenauigkeit empfiehlt es sich, die Sonde mehrfach an derselben Stelle aufzusetzen. Das Messgerät bildet aus den mehrfachen Messungen automatisch einen Mittelwert, wobei nicht plausible

Messwerte - sogenannte "Ausrutscher" - ignoriert werden. Die beiden Kalibrierfolien sollten so ausgewählt sein, dass die eine dünner als die kleinste zu erwartende Lackschichtdicke ist, die andere größer als die größte zu erwartende Lackschichtdicke. Der genaue Wert der Kalibrierfoliendicken ist jedoch weitgehend unerheblich und beeinflusst die Messgenauigkeit kaum, solange die untere Folien Dicke nicht kleiner als 4 µm gewählt wird, was aus Gründen der Handhabbarkeit auch gar nicht möglich ist. Als gute Faustregel gilt, für die eine Kalibrierfolie etwa die Hälfte der kleinsten zu erwartenden Lackschichtdicke zu wählen, für die andere etwa das Anderthalbfache der größten zu erwartenden Lackschichtdicke.

## Messergebnisse

Tabelle 1 zeigt die mit einer Fe-Mikrosonde und dem hier beschriebenen 2-Punkt-Kalibrierverfahren an einem ungelochten, verzinkten (Zinkschichtdicke 12,6 µm) Stahlblech (Dicke 0,6 mm) ermittelten Messwerte von Lackschichtdicken. Die Lackschichten wurden in diesem Fall durch Auflegen von Folien simuliert, deren Dicken zuvor mit einem Messtaster auf +/- 0,1 µm genau ermittelt wurden.

In der Tabelle sind die Messwerte grau hinterlegt, die innerhalb der beiden jeweiligen Kalibrierpunkte liegen. Sowohl innerhalb der Kalibrierpunkte als auch weit oberhalb und unterhalb stimmen die Messwerte mit hoher Genauigkeit mit den Sollwerten überein. Lediglich wenn die zu messende Schichtdicke größer als zweifache Kalibrierfolien Dicke oder kleiner als die halbe Kalibrierfolien Dicke ist, ist mit Abweichungen zu rechnen, die größer als 2 µm oder 3 % des Sollwerts sind. Die Ergebnisse der Tabelle 1 bestätigen auch den bei Schichtdickenmessungen wohlbekannten Sachverhalt, dass die Messgenauigkeit umso größer wird, je näher Sonde und

Nr.	Kalibrierpunkte	Sollwert in µm	4,3	11,3	22,7	33,3	48,5	73,7	100	151	248
1	11,3 µm und 100 µm	Messwert in µm	6,2	11,4	22,5	32,5	47,9	73,4	100	156	271
2	11,3 µm und 151 µm	Messwert in µm	5,7	11,8	20,8	33	46,5	71,4	98,1	151	260
3	51 µm und 151 µm	Messwert in µm	8,3	13,2	24,7	33,7	48,5	73	100	152	248
4	11,6 µm und 51 µm	Messwert in µm	6,2	11,8	22,5	33,3	48	73	102	161	270

**Tab. 1: Schichtdickenmessung an einem verzinkten Stahlblech (Blechdicke 0,6 mm, Zinkschichtdicke 12,6 µm)**

Kalibriermethode	Messpunkt	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Zweipunkt (22,3 - 100 µm) auf blankem Blech	Gesamtschichtdicke (Zink + Lack) in µm	76,9	77,2	76,7	75,5	79	34,5	32,9	30,8	33,8	35,4
Zweipunkt (22,3 - 100 µm) auf verzinktem Blech	Lackschichtdicke in µm	70,0	71,8	69,2	69,6	73,9	25,8	24,7	22,7	26,0	27,8
	Δ in µm	6,9	5,4	7,5	5,9	5,1	8,7	8,2	8,1	7,8	7,6

**Tab. 2: Gemessene Lackschichtdicke an einem verzinkten und gelochten Stahlblech**

Messgerät an den Grenzen des zu erwartenden Messbereichs kalibriert werden. Tabelle 2 zeigt das Ergebnis der Lackschichtdickenmessung an zehn Messpunkten des in Bild 2 gezeigten Lochraasterblechs für die beiden Fälle, dass die Zweipunktkalibrierung zum einen auf dem blanken (Zinkschicht entfernt) und zum anderen auf dem verzinkten Stahlblech ausgeführt wird. Im ersten Fall wird die Gesamtdicke (Zink + Lack) gemessen, im zweiten Fall nur die Lackdicke. Messpunkte 1 - 5 liegen auf der Vorderseite des Bleches, Messpunkte 6 - 10 auf der Rückseite. Das Versuchsblech ist demnach auf Vorder- und Rückseite unterschiedlich dick lackiert. Auch die Zinkschichtdicke ist auf Vorder- und Rückseite unterschiedlich, wie aus der Differenz  $\Delta$  der beiden Werte je Messpunkt hervorgeht. Als wesentliches Ergebnis aber bestätigt die Messreihe in Tabelle 2, dass bei der hier vorgeschlagenen Zweipunktkalibrierung auf dem verzinkten Stahlblech die nicht interessierende Zinkschichtdicke unterdrückt wird und die Lackschichtdicke auf eine sehr einfache Weise mit ausreichend hoher Genauigkeit gemessen werden kann. Der Messbereich der hier verwendeten Femto-Mikrosonden reicht im übrigen bis 500  $\mu\text{m}$ . Oberhalb 100  $\mu\text{m}$  Schichtdicke beträgt die Auflösung 1  $\mu\text{m}$ , unterhalb 100  $\mu\text{m}$  Schichtdicke jedoch 0,1  $\mu\text{m}$ . Ist die Zinkschichtdicke die interessierende Messgröße, lassen sich daher auch die messtechnischen Vorzüge der Mikrosonden nutzen, indem auf dem unbeschichteten Blech z.B. zwischen Null und 50  $\mu\text{m}$  kalibriert wird.

## Schlussfolgerungen

Mikrosonden stellen zusammen mit einem Schichtdickenmessgerät, das über geeignete Kalibriertechniken verfügt, eine universelle Möglichkeit zur Schichtdickenmessung an Blechen dar, die sowohl bei Duplexschichten als auch vielen weiteren Anwendungsfällen ohne zusätzlichen messtechnischen oder apparativen Aufwand präzise Schichtdickenwerte liefert. Einzige Voraussetzung ist, die für den jeweiligen Anwendungsfall geeignete Kalibriertechnik auszuwählen. Im vorliegenden Fall erfolgten die Untersuchungen und die daraus resultierend Auswahl und Empfehlung der anzuwendenden Kalibriertechnik in enger Zusammenarbeit zwischen dem Anwender und dem Hersteller des Schichtdickenmessgerätes. Letzterer unterhält für Applikationen im Bereich der Schichtdickenmesstechnik ein eigenes anwendungstechnisches Labor, dessen Erfahrung und technisches Know-how er gerne allen ratsuchenden Anwendern zur Verfügung stellt.