

## **Kontrolle des Korrosionsschutzes von Stahlbrücken an kritischen Stellen mittels innovativer Schichtdickenmessgeräte**

Dr.-Ing. Volker K.S. Feige, AUTOMATION Dr. Nix GmbH & Co. KG

### **Einleitung**

Nach dem Bau der ersten Eisenbrücken vor gut 200 Jahren, hat sich der Baustoff Stahl im 19. und 20. Jahrhundert weltweit in einer Vielzahl von Brückenkonstruktionen etabliert, da er im Vergleich zu Beton ein besseres Verhältnis von Festigkeit zu Gewicht besitzt. Die Konstruktionen von Stahlbrücken fallen deshalb in der Regel filigraner aus, was insbesondere zu einer kurzen Bauzeit und damit verbundenen geringen Baukosten führt. Die Schattenseite hiervon ist jedoch ein Mehraufwand an Korrosionsschutzmaßnahmen, da ungeschützter Baustahl in der Atmosphäre, in Wasser und im Erdreich korrodiert. Ein langer und zuverlässiger Betrieb der Brücken ist aber entscheidend. Denn die Brücken gewährleisten den reibungslosen Auto-, Lkw- sowie Eisenbahnverkehr und stellen somit - meist unbeachtet - einen wichtigen Pfeiler für den Personen- und Warentransport in unserer Gesellschaft dar. Im Jahre 2000 umfasste der Bestand 35675 Brücken allein an Bundesfernstraßen, mit einer Brückenfläche von 25,54 Millionen Quadratmetern, davon 6,67 Millionen Quadratmeter für Stahl- beziehungsweise Stahlverbund-Brücken[1].

### **Normgerechte Überwachungen und Messungen**

Damit die Sicherheit des Verkehrs auf sowie unter den Brücken gewährleistet ist, werden die Konstruktionen in regelmäßigen Abständen geprüft. In der Bundesrepublik Deutschland ist die Prüfung und Überwachung von Ingenieurbauwerken in der DIN 1076 „Ingenieurbauwerke im Zuge von Straßen und Wegen, Überwachung und Prüfung“ festgelegt. Nach dieser Norm sind alle drei Jahre einfache Prüfungen und alle 6 Jahre Hauptprüfungen durchzuführen, die durch einen sachkundigen Ingenieur zu betreuen sind[2].

Kommt es auf der Grundlage der Prüfungen, wie beispielsweise im Falle der Südbrücke in Düsseldorf (Josef-Kardinal-Frings-Brücke, Abbildung 1), zu einem Sanierungsfall, sind die auszuführenden Sanierungsarbeiten und Beschichtungen zu kontrollieren. Diese Kontrollen sind in Deutschland in der Vorschrift der „Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Korrosionsschutz von Stahlbauten“ beschrieben[3]. Da hierbei insbesondere europäische und internationale Standards zu berücksichtigen sind, bezieht sich die Richtlinie für den Korrosionsschutz im verstärkten Maße auf den internationalen Standard EN ISO 12944, der den Korrosionsschutz von Stahlbauten durch Beschichtungssysteme beinhaltet[4].

Im Falle der Sanierung der Südbrücke Düsseldorf wurde der von außen nicht sichtbare Innenraum der Brücke an den Außenwänden mit T-Profilen verstärkt (Abbildung 2). Nach einer anschließenden Oberflächenvorbereitung werden zwei Beschichtungen auf der Basis eines 2-Komponenten Epoxydharzes mit jeweils ca. 300µm Schichtdicke aufgetragen. Für die Ausführung und Überwachung der Beschichtungsarbeiten ist bei diesen großen Objekten eine systematische Vorgehensweise und Dokumentation der Arbeiten erforderlich. Deshalb werden in Abhängigkeit von der Größe des Bauobjektes an geeigneten Stellen Kontrollflächen definiert, an denen die Kontrollmessungen zur Verifizierung der einzelnen Schichten

AUTOMATION Dr. Nix GmbH & Co. KG  
D-50739 Köln, Robert-Perthel-Str. 2

des Beschichtungssystems durchzuführen sind. Hierbei ist die Kontrolle des fertigen Beschichtungssystems allein nicht ausreichend. Vielmehr werden bei jedem Arbeitsgang die Schichtdicke im nassen Zustand sowie die zugehörigen Umgebungsbedingungen hinsichtlich Luftfeuchtigkeit, Luft- und Oberflächentemperatur sowie Taupunkt erfasst, wie dieses das Formblatt der EN ISO 12944 empfiehlt.

Bezüglich der Schichtdickenmessung sind Messverfahren nach dem internationalen Standard EN ISO 2808 zu verwenden [5], wie beispielsweise Messkämme zur Bestimmung der nassen Schichtdicke und magnetische Messmethoden bzw. -verfahren für Trockenschichtmessung, wie diese in Abbildung 3 und Abbildung 4 dargestellt sind.

Die wechselnden und groben Umgebungsbedingungen bei den Beschichtungsarbeiten und der dabei stattfindenden Kontrollen erfordern robuste, zuverlässige und einfach zu bedienende Messgeräte. Dabei stellen die wechselnden Temperaturen, Baustähle sowie eventuell vorherrschende Magnetisierungen besondere Ansprüche an die Messgeräte: Denn trotz dieser verschiedenen Einflüsse auf das Messgerät möchte der Anwender in der Praxis ohne aufwendige Justierungen beziehungsweise Einstellungen zuverlässig die Schichtdicke bei den verschiedenen Bedingungen erfassen können. Jegliches Zubehör wie beispielsweise Kalibrierfolien kann die Arbeit behindern, beispielsweise wenn es durch den Wind verweht oder anderweitig abhanden kommt. Des Weiteren ist es im praktischen Einsatz meist nicht auszuschließen, dass es zu Kontaminationen durch Lösungsmittel oder Zweikomponenten-Lacken kommt, so dass beispielsweise Kalibrierfolien bzw. Bezugsnormale unbrauchbar werden. Der Anwender wünscht deshalb ein Messgerät, das ohne umständliche Kalibrierung bzw. Justierung auf die verschiedenen ferromagnetischen Stahlsorten sofort einsetzbar ist.

Trotz der harschen Umgebungsbedingungen an den Baustellen sind die Beschichtungen an den verschiedensten Kontrollflächen zuverlässig zu verifizieren. Denn besonders schwer zugängliche Stellen werden aufgrund Ihrer Lage oder Geometrie schlecht beschichtet. Zusätzlich unterliegen diese Stellen aufgrund der dort herrschenden Feuchtigkeit erhöhter Korrosionsgefahr, so dass gerade diese Stellen bei den Prüfungen berücksichtigt werden. An der Südbrücke Düsseldorf sind beispielsweise die Innenräume der angeschweißten T-Profile diesbezügliche Prüfstellen, wie es in der Abbildung 5 dargestellt ist. Insbesondere für diese Stellen wird ein Schichtdickenmessgerät mit geringer Bauhöhe benötigt, so dass auch die vertikale Innenwand vermessen werden kann. Für diese Anwendungen sind möglichst flache Handmessgeräte oder kleine Messsonden erforderlich, welche die Messdaten zum Anzeigegerät weiterleiten. Häufig kommen kabel- bzw. leitungsgebundene Messsonden zum Einsatz. Die Verbindungsleitung ist in vielen Fällen jedoch hinderlich und kann sogar eine Unfallgefahr darstellen, beispielsweise wenn der Anwender auf einer Leiter misst und die Leitung im Wege ist oder sich an der Leiter verheddert. Insbesondere für solche kritischen Messstellen in großer Höhe oder an anderen schwer zugänglichen Stellen ist ein kleines Messgerät bzw. eine Messsonde erwünscht, die ausschließlich mit einer Hand bedient werden kann, da die andere Hand beispielsweise für den sicheren Halt an der Leiter benötigt wird. Auch wenn eine Verbindungsleitung für viele Anwendungen geeignet scheint, ist sie in diesen Anwendungen meist störend und sogar gefährlich. Ein konsequenter Fortschritt für derartige schwierige Aufgaben stellt deshalb eine kleine, kabellose

AUTOMATION Dr. Nix GmbH & Co. KG  
D-50739 Köln, Robert-Perthel-Str. 2

und völlig unabhängige Schichtdicken-Messsonde dar, die ihre Messwerte über eine Funkverbindung zu einem Anzeige- und Datenerfassungssystem transferiert. Mit dieser kleinen, völlig unabhängigen Funksonde zur Schichtdickenmessung kann der Anwender auch in kritischen Positionen ungehindert messen, ohne dass eine Leitungsverbindung sich an einer Leiter oder an einem anderen Gegenstand verwickelt. Eine solche freie und sichere Einhand-Messung findet sich in der Abbildung 6 und in Abbildung 7 beispielhaft dargestellt. Diese mit der kabellosen Funk-Messsonde erzielte Arbeitsfreiheit kommt der Sicherheit des Prüfers ebenso zugute wie der Effektivität und Produktivität der Kontrollmessungen.

Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass die mit der Funk-Messsonde gemessenen Schichtdicken auch über größere Entfernungen zum Anzeigegerät übertragen werden können. Insbesondere bei Prüfungen von Kontrollflächen in großen Höhen, an weit auseinander liegenden Flächen oder an anderen schwer zu erreichenden Stellen wird die Messaufgabe auf diese Weise beträchtlich erleichtert. So ist es dem Gutachter möglich, die Schichtdickenmessungen eines Mitarbeiters aus der Entfernung zu kontrollieren, unmittelbar, ohne dabei an dem gleichen Messort zu sein. Beispielsweise kann der Gutachter beziehungsweise Sachverständige die gemessenen Schichtdicken am Fuß einer Leiter, in ungestörter Lage, beobachten und unverzüglich prüfen.

Neben der Schichtdickenmessung der einzelnen Lagen werden darüber hinaus auch Haftfestigkeitsmessungen durchgeführt, welche die Haftfestigkeit auf dem Untergrund und zwischen den Schichten kennzeichnen sollen. Bei Schichtdicken größer als ca. 250µm wird hierfür im Allgemeinen die Abreißmethode (Stirnabzug) verwendet[6]. Hierbei ist die Kraft zu messen, bei welcher der Abriss eines Stempels mit definierter Größe erfolgt, der zuvor auf die Oberfläche der Beschichtung geklebt wurde. Da bei einer fachgemäßen Beschichtung der Bruch in der Regel in einer Lacklage erfolgt, verbleibt auf dem Stahlsubstrat eine Restschichtdicke des Lacks. Zur Bestimmung der Lage des Beschichtungsabrisses wird auch hier ein Schichtdickenmessgerät verwendet, indem bei mehrlagigen Beschichtungssystemen die Lage des Abrisses über die Schichtdicke bestimmt wird.

### **Systematische Messdatenerfassung und standardisierte Dokumentation**

Die gemessenen Schichtdicken sind nach Norm zu dokumentieren, indem für jede Kontrollfläche eine Liste von Einzelmessungen mit der zugehörigen statistischen Auswertung erstellt wird. Mittels der Statistikfunktionen zur Berechnung der Standardabweichung, des Mittelwertes, des Maximal- oder des Minimalwertes kann die Rauheit des Substrats und/oder die Unebenheit der Beschichtung ermittelt werden. Aufgrund der Größe der Sanierungsobjekte sind in vielen Fällen mehrere tausend Messwerte in dem Handgerät zu speichern. Damit die Schichtdicken-Messwerte der einzelnen Kontrollflächen schon vor Ort sortiert beziehungsweise systematisch und gesichert zu erfassen sind, werden im Handmessgerät Speichermessblöcke eingerichtet, die den jeweiligen Kontrollflächen zugeordnet sind. Die Abbildung 8 verdeutlicht diesen Vorgang, in dem die gemessenen Schichtdicken in den so genannten „Blöcken“ des Handgerätes gespeichert und so unmittelbar den Kontrollflächen zugeordnet werden. Diese Speicherblöcke kann der Anwender vor Ort auswählen, und anschließend zu jedem Block unmittelbar am Handgerät den Mittelwert, die Standardabweichung sowie den Minimal- und Maximalwert ablesen. Das Einrichten der Messblöcke in dem Handmessgerät ist sowohl am Handgerät selbst, wie auch mit einem handelsüblichen Computer möglich, der über eine weitere

AUTOMATION Dr. Nix GmbH & Co. KG  
D-50739 Köln, Robert-Perthel-Str. 2

Funkverbindung mit dem Handgerät kommuniziert. Gerade diese Möglichkeit der Vorkonfiguration des Handgerätes mittels Computer ist sehr komfortabel, wenn einheitliche Blocknamen für ein Projekt zu verwenden sind, da diese beispielsweise aus einer Liste kopiert werden können.

Damit die einzelnen Projektpartner die Dokumentation der Messdaten möglichst schnell erhalten, können die Messwerte in den gespeicherten Blöcken in einen Personalcomputer übertragen und anschließend ausgedruckt oder in elektronischer Form versendet werden. Mit dem Ziel, den individuellen Bedürfnissen der Anwender bei der statistischen Auswertung und der Ausgabe möglichst viele Freiheiten zu belassen, werden die Messdaten dabei nach Microsoft-Excel transferiert, das besonders flexible Auswertungsmöglichkeiten zulässt. Neben den Einzelmesswerten werden automatisch statistische Funktionen, wie beispielsweise Mittelwert und Standardabweichung sowie die graphische Darstellung der Messwertverteilung mittels eines Histogrammes erzeugt. Die Abbildung 9 zeigt die Messkette vom Anwender vor Ort bis zur Datenauswertung, so dass eine komfortable, präzise, schnelle und standardisierte Dokumentation der Arbeiten stattfinden kann.

### **Zusammenfassung**

Das Ziel der möglichst langen Lebensdauer einer Brücke erfordert unter Beachtung der hohen Kosten ihrer Sanierung umfangreiche und sorgfältige Kontrollen der Beschichtungsarbeiten und des Beschichtungs-Zustandes.

Die Kosten der für die Kontrolle verwendeten Schichtdickenmessgeräte sind im Vergleich zu den Gesamtkosten der Sanierung gering. Umso wichtiger ist jedoch die Zuverlässigkeit und Genauigkeit der Geräte, die unter den wechselnden und rauen Bedingungen eingesetzt werden. In diesem Zusammenhang sind möglichst kleine und autonome Messsonden erforderlich, die das Messen auch an schwer zugänglichen Orten ermöglichen und dem Bediener eine größtmögliche Bewegungsfreiheit gestatten. Es wurde dargestellt, dass eine kleine funkbasierte Messsonde, die darüber hinaus eine einfache Datenerfassung und -auswertung ermöglicht, für den Anwender entscheidende Vorteile hinsichtlich der Arbeitseffektivität und Sicherheit bietet. Das QNix® 8500-Messgerät mit seiner unabhängigen und kleinen funkbasierten Schichtdicken-Messsonde ist auf dem Gebiet der Schichtdickenmessung einzigartig und stellt damit einen bedeutenden und innovativen Schritt im Bereich der Schichtdickenmesstechnik für kritische Anwendungen dar.

### **Literatur:**

- [1] W.-D. Friebel  
„Bauwerksdaten und Bauwerksprüfung“  
DGZfP-Berichtsband 76-CD, Fachtagung Bauwerksdiagnose 2001
- [2] DIN 1076  
„Ingenieurbauwerke im Zuge von Straßen und Wegen, Überwachung und Prüfung“  
Jahr 1999
- [3] Bundesanstalt für Straßenwesen  
„Zusätzliche technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Korrosionsschutz“  
Verkehrsblatt- Verlag Borgmann GmbH & Co. KG / Dokument Nr. B5239 –  
Vers. 12 / 02

AUTOMATION Dr. Nix GmbH & Co. KG  
D-50739 Köln, Robert-Perthel-Str. 2

- [4] EN ISO 12944  
“ Korrosionsschutz von Stahlbauten durch Beschichtungssysteme“  
CEN Europäisches Komitee für Normung
- [5] EN ISO 2808  
“ Beschichtungsstoffe – Bestimmung der Schichtdicke „  
CEN Europäisches Komitee für Normung / TC 139
- [6] DIN-Fachbericht 63  
“Lacke und ähnliche Beschichtungsstoffe:  
Übersicht über Prüfverfahren zum Beurteilen der Haftfestigkeit von  
Beschichtungen“  
Beuth Verlag GmbH, Berlin Wien Zürich

**Autorenbericht:**

Dr.-Ing. Volker K. S. Feige  
Entwicklung Elektronik

Diplom und Promotion der Elektrotechnik an der Bergischen Universität Wuppertal.  
Seid mehr als 8 Jahren beruflich tätig in der Forschung und Entwicklung von  
Messgeräten und Messsonden für die Positions- und Schichtdickenmessung.  
Entwicklungsingenieur der AUTOMATION Dr. Nix GmbH & Co. KG in Köln sowie  
Segmentkoordinator für den Bereich der Sanierung von Stahlbauten.

Köln, 20.02.07

**Abbildungen:**

- Abbildung 1: Südbrücke bzw. (Josef-Kardinal-Frings-Brücke) in Düsseldorf
- Abbildung 2: Sanierung des inneren Hohlraumes der Südbrücke Düsseldorf
- Abbildung 3: Messkamm zur Bestimmung der nassen Lackdicke nach EN ISO 2808
- Abbildung 4: Schichtdickenmessgerät zur Trockenlackmessung nach EN ISO 2808
- Abbildung 5: Schichtdickenmessung im Inneren eines angeschweißten T-Profiles mit  
dem Messgerät QNix® 8500 und einer funkbasierten Messsonde der  
Firma Automation Dr. Nix GmbH
- Abbildung 6: Komfortable Schichtdickenmessung mit QNix® sat- Funk-Messsonde  
auf einer Leiter
- Abbildung 7: Uneingeschränkte Bewegungsfreiheit mit der QNix sat- Schichtdicken-  
Messsonde
- Abbildung 8: Speicherung der Messwerte mittels Zuordnung der Kontrollflächen zu  
„Blöcken“
- Abbildung 9: Funkübertragung von der Messsonde zum Handgerät sowie vom  
Handgerät zu einem Computer, wo die Datenauswertung mittels  
Microsoft-Excel geschieht