

# Kontrolle des Korrosionsschutzes von Stahlbrücken an kritischen Stellen mit Hilfe eines Schichtdickenmeßgerätes

Volker K. S. Feige

Nach dem Bau der ersten Eisenbrücken hat sich der Baustoff Stahl nach 1850 weltweit in einer Vielzahl von Brückenkonstruktionen etabliert, da er im Vergleich zu Beton ein besseres Verhältnis von Festigkeit zu Gewicht besitzt. Stahlbrücken fallen deshalb in der Regel filigraner aus, was insbesondere zu einer kurzen Bauzeit und damit verbundenen zu geringen Baukosten führt. Die Schattenseite hiervon ist jedoch ein Mehraufwand an Korrosionsschutz, 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 Mio. m<sup>2</sup>, davon 6,67 Mio. m<sup>2</sup> für Stahl- bzw. Stahlverbund-Brücken [1].

## 1 Normgerechte Überwachungen und Messungen

Damit die Sicherheit des Verkehrs auf wie 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 sechs 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 (Bild 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“ be-

schrieben [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 (Bild 2). Nach einer anschließenden Oberflächenvorbereitung werden zwei Beschichtungen auf der Basis eines 2-Komponenten-Epoxydharzes mit jeweils ca. 300 µm 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



Bild 1. Südbrücke bzw. Josef-Kardinal-Frings-Brücke in Düsseldorf



Bild 2. Sanierung des inneren Hohlraumes der Südbrücke Düsseldorf

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 den Bildern 3 und 4 dargestellt sind.

Die wechselnden und groben Umgebungsbedingungen bei den Be-

schichtungsarbeiten und den 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, z. B. 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-Lacke 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. 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 Anzeigergerät 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 und völlig unabhängige Schichtdickenmeßsonde 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 zeigt Bild 5. 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 Anzeige-

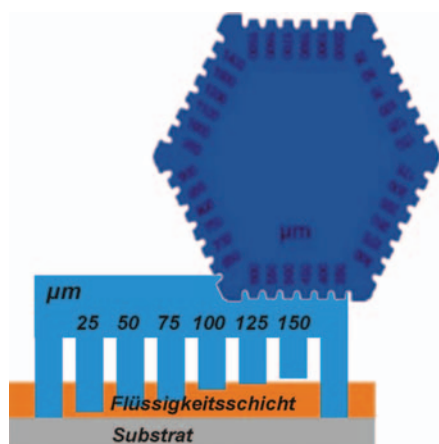


Bild 3. Meßkamm zur Bestimmung der nassen Lackdicke nach EN ISO 2808



Bild 4. Schichtdickenmeßgerät zur Trockenlackmessung nach EN ISO 2808

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 und völlig unabhängige Schichtdickenmeßsonde 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 zeigt Bild 5. Diese mit der kabellosen Funk-Meßsonde erzielte Arbeitsfreiheit kommt der Sicherheit des Prüfers ebenso zugute wie der Effektivität und Produktivität der Kontrollmessungen.



Bild 5. Komfortable Schichtdickenmessung mit Qnix® sat-Funkmeßsonde auf einer Leiter

gerät 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 bzw. 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. 250 µm 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.

## 2 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 ein-

zelnen Kontrollflächen schon vor Ort sortiert bzw. systematisch und gesichert zu erfassen sind, werden im Handmeßgerät Speichermeßblöcke eingerichtet, die den jeweiligen Kontrollflächen zugeordnet sind. Bild 6 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 als auch mit einem handelsüblichen Computer möglich, der über eine weitere 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 Daten 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. Bild 7 zeigt die Meßkette

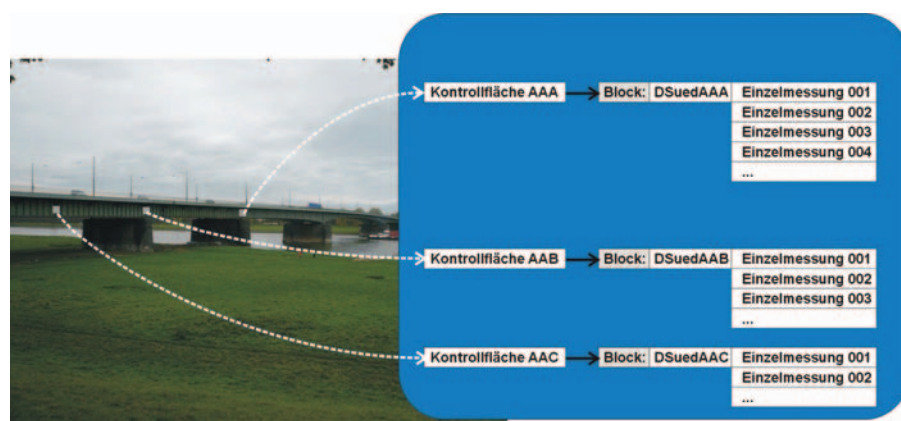


Bild 6. Speicherung der Meßwerte mittels Zuordnung der Kontrollflächen zu „Blöcken“



Bild 7. Funkübertragung von der Meßsonde zum Handgerät sowie vom Handgerät zu einem Computer, wo die Datenauswertung mittels Microsoft-Excel geschieht

vom Anwender vor Ort bis zur Datenauswertung, so daß eine komfortable, präzise, schnelle und standardisierte Dokumentation der Arbeiten stattfinden kann.

### 3 Resümee

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. Um so 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 Meßson-

den 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 Schichtdickenmeßsonde 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] *Friebel, W.-D.*: Bauwerksdaten und Bauwerksprüfung. DGZfP-Berichtsband 76-CD, Fachtagung Bauwerksdiagnose 2001.

- [2] DIN 1076: Ingenieurbauwerke im Zuge von Straßen und Wegen, Überwachung und Prüfung. 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.
- [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. Berlin Wien Zürich: Beuth Verlag GmbH.

### Autor dieses Beitrages:

Dr.-Ing. Volker K. S. Feige, AUTOMATION Dr. Nix GmbH & Co. KG, Robert-Perthel-Straße 2, 50739 Köln