

Untersuchung von unbelasteten und künstlich belasteten Beschichtungen

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Brücken- und Ingenieurbau Heft B 19

bast

Untersuchung von unbelasteten und künstlich belasteten Beschichtungen

**Instandhaltung des
Korrosionsschutzes durch
Teilerneuerung – Entwicklung eines
Meßverfahrens**

von

Malgorzata Schröder

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Brücken- und Ingenieurbau Heft B 19

bast

Die Bundesanstalt für Straßenwesen veröffentlicht ihre Arbeits- und Forschungsergebnisse in der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen**. Die Reihe besteht aus folgenden Unterreihen:

- A – Allgemeines
- B – Brücken- und Ingenieurbau
- F – Fahrzeugtechnik
- M – Mensch und Sicherheit
- S – Straßenbau
- V – Verkehrstechnik

Es wird darauf hingewiesen, daß die unter dem Namen der Verfasser veröffentlichten Berichte nicht in jedem Fall die Ansicht des Herausgebers wiedergeben.

Nachdruck und photomechanische Wiedergabe, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung der Bundesanstalt für Straßenwesen, Referat Öffentlichkeitsarbeit.

Die Hefte der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen** können direkt beim Wirtschaftsverlag NW, Verlag für neue Wissenschaft GmbH, Bgm.-Smidt-Str. 74-76, D-27568 Bremerhaven, Telefon (04 71) 9 45 44-0, bezogen werden.

Über die Forschungsergebnisse und ihre Veröffentlichungen wird in Kurzform im Informationsdienst **BAST-Info** berichtet. Dieser Dienst wird kostenlos abgegeben; Interessenten wenden sich bitte an die Bundesanstalt für Straßenwesen, Referat Öffentlichkeitsarbeit.

Impressum

Bericht zum Forschungsprojekt 95221:
Instandhaltung des Korrosionsschutzes durch Teilerneuerung - Untersuchung von unbelasteten und künstlich belasteten Beschichtungen

Herausgeber:
Bundesanstalt für Straßenwesen
Brüderstraße 53, D-51427 Bergisch Gladbach
Telefon (0 22 04) 43-0
Telefax (0 22 04) 43-6 74

Redaktion:
Referat Öffentlichkeitsarbeit

Druck und Verlag:
Wirtschaftsverlag NW
Verlag für neue Wissenschaft GmbH
Postfach 10 11 10, D-27511 Bremerhaven
Telefon (04 71) 9 45 44-0
Telefax (04 71) 9 45 44 88

ISSN 0943-9293
ISBN 3-89701-113-1

Bergisch Gladbach, März 1998

Kurzfassung · Abstract

Untersuchung von unbelasteten und künstlich belasteten Beschichtungen

In der BAST war ein Meßverfahren für Betonoberflächen entwickelt worden, dessen Anwendung zur Prüfung von Beschichtungen auf metallischen Untergründen ebenfalls möglich erscheint. Da es sich hier um einen neuen Einsatzbereich handelt, waren jedoch zur Abschätzung der Anwendung für eine Bewertung von Beschichtungen auf metallischen Untergründen grundlegende, systematische Untersuchungen notwendig.

Das Meßverfahren beruht auf dem Prinzip der Leitung des elektrischen Stromes in Elektrolytlösungen. Die Meßwerte sind proportional zu den Fehlstellen, bzw. Strompfaden in einer Beschichtung.

Das Meßverfahren kann als zerstörungsarm eingestuft werden.

Als Beschichtungssysteme wurden Beschichtungen mit den Bindemitteln: Polyvinylchlorid (PVC), 2-Komponenten-Epoxidharz/Polyurethan (EP/PUR) und 1-Komponenten-Polyurethan (1 K PUR) für die Versuche ausgewählt. Als künstliche Belastung dieser Beschichtungen wurde die Salzsprühnebelbelastung nach DIN 50021 - SS angewandt.

Das untersuchte Meßverfahren ist nach den Ergebnissen der Laboruntersuchungen als brauchbar für die Bewertung von Beschichtungen, insbesondere von Altbeschichtungen einzuschätzen.

Die Meßergebnisse sind wiederholbar. Die Zusammenhänge zwischen dem Meßwert und der Schichtdicke, bzw. der Belastungsdauer sind plausibel. Die ermittelten Kurven, die den Zusammenhang zwischen den Meßwerten und der Schichtdicke der Beschichtung darstellen, haben die Form einer „Treppenfunktion“. Die Meßwerte können in drei Kategorien eingestuft werden: niedrige, hohe und unzulässige Meßwerte. Die niedrigen Meßwerte sind Indiz für eine funktionfähige Beschichtung. Darüber hinausgehende hohe Meßwerte sind als Warnsignal zu verstehen, um möglicherweise eine Instandsetzungsmaßnahme zu veranlassen. Bei Überschreitung des Meßbereiches (unzulässige Meßwerte) ist mit ungehindertem Elektrolytfluß zum Untergrund und einer baldigen Durch-, bzw. Unterrostung zu rechnen. Wie weit diese Ergebnisse auf die Praxis zu übertragen sind, ist in einem Folgeprojekt an Bauwerken mit unterschiedlichem Zustand und Alter der Beschichtungen noch zu untersuchen.

Investigation of unaged and artificially aged organic coatings

It appears possible that a measuring method developed by BAST for use on concrete surfaces could also be applied in the investigation of organic coatings on metallic substrates. However, as the method was intended for a new field of application, basic and systematic investigations were necessary to allow an estimation of its application for evaluating organic coatings on metallic substrates to be made.

The measuring method is based on the principle that electrolyte solutions conduct electric current. The measured values differ in proportion to the number and size of paths in a coating along which the current is able to pass.

The measuring method can be classified as non destructive.

Coatings with the following binders were selected as coating systems for the investigations: polyvinyl chloride (PVC), two-component epoxy/polyurethane (EP/PUR) and one-component polyurethane (1 K PUR). The coatings were subjected to artificial ageing by the salt spray test in accordance with DIN 50021-SS.

According to the results of the laboratory tests the investigated measuring method can be regarded as suitable for evaluating organic coatings, in particular old coatings.

The measuring results are repeatable. There are clear relationships between the measured value and the coating thickness and the measured values and the duration of ageing. The resultant curves which illustrate the relationship between the measured values and the thickness of the coating have the form of a "series of steps". The measuring values can be classified in three categories: low, high and those which exceed the scale. Low measuring results indicate an intact coating. High measuring results are to be interpreted as a warning that maintenance measures should possibly be taken. Values which exceed the measuring range indicate an unhindered flow of the electrolyte solution to the substrate as a result of which early underrusting should be expected. How far these results can be transferred to practical situations is to be investigated in a further project dealing with the examination of structures protected by organic coatings of different condition and age.

Inhalt

1	Einleitung	7
2	Beschreibung des Meßverfahrens	7
3	Vorgehensweise	8
3.1	Vorbereitung der Probenplatten	8
3.2	Elektrolytlösungen	8
3.3	Korrosionsbelastung	8
3.4	Auswahl der Prüfspannung	8
3.5	Durchführung der Messungen	8
4	Diskussion der Meßergebnisse	9
4.1	Einfluß der Prüfspannung auf den Meßwert	9
4.2	Einfluß der Elektrolytlösung auf den Meßwert	11
4.3	Einfluß der Schichtdicke der Beschichtung auf den Meßwert	14
4.4	Einfluß der künstlichen Alterung durch Salzsprühnebelbelastung und der Bindemittelart auf den Meßwert	17
5	Schlußfolgerungen	19
	Zusammenfassung	20
	Literatur	22

1 Einleitung

Eine Teilerneuerung ist gemäß der Definition in den Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Korrosionsschutz von Stahlbauten (ZTV-KOR) [1] das Wiederherstellen des Korrosionsschutzes an Fehlstellen und das Aufbringen von mindestens einer ganzflächigen Deckbeschichtung. Bei noch brauchbaren Altbeschichtungen kann dadurch im Vergleich zu Vollerneuerungen ein wesentlicher Beitrag zur Kostenminimierung bei Instandsetzungsmaßnahmen und zur Verminderung von Umweltbelastungen geleistet werden.

Der Erfolg einer Teilerneuerung des Korrosionsschutzes hängt in gleichem Maße sowohl von der entsprechenden Oberflächenvorbereitung und Anwendung geeigneter Beschichtungsstoffe bei der Instandsetzung als auch von der Art der Altbeschichtung und einer korrekten Bewertung ihres Zustandes ab. Zum Bewerten der Altbeschichtung bietet das Normenwerk eine Reihe von Prüfungen an. Dabei handelt es sich um zerstörungsfreie visuelle Prüfungen, z.B. Bezeichnung des Blasengrades [2], des Rostgrades [3], der Kreidung [4] und der Rißbildung [5] und um zerstörende Prüfungen wie z.B. die Gitterschnittprüfung [6] oder die Abreißprüfung [7].

Im Referat B1 - Betonbau - der BAST wurde ein Meßverfahren zur Prüfung der Wirksamkeit einer Hydrophobierung des Betons [8] entwickelt. Die dabei gewonnenen Erkenntnisse führten zur Entwicklung eines Gerätes zur Prüfung der Dichtigkeit von Beschichtungen auf metallischen Untergründen. Das Meßverfahren im Vergleich zu den o.g. Norm-Prüfungen der Beschichtungen kann als zerstörungssarm eingestuft werden. Das Gerät ist vor Ort leicht einsetzbar. Da es sich hier um eine Neuentwicklung handelt, waren jedoch einige grundlegende, systematische Untersuchungen im Labor notwendig. Sie sollten vor allem die Zusammenhänge zwischen Meßwerten und den verschiedenen Parametern eines Korrosionsschutzsystems deutlich machen, z.B. Bindemittelart, Schichtdicke, Alterungszustand, und denen des Meßgerätes, z.B. Prüfspannung und Art der Elektrolytlösung.

Ziel der Untersuchungen war die Prüfung der Eignung dieses Meßverfahrens zum Bewerten von Altbeschichtungen im Hinblick auf eine Teilerneuerung und die Weiterentwicklung des Meßverfahrens als Grundlage für praktische Versuche an Bauwerken, die in einem Folgeprojekt durchgeführt werden sollen. Letztlich soll das Meßverfahren der Praxis zur Verfügung gestellt werden.

2 Beschreibung des Meßverfahrens

Das Meßverfahren beruht auf dem Prinzip der Leitung des elektrischen Stromes in Elektrolytlösungen.

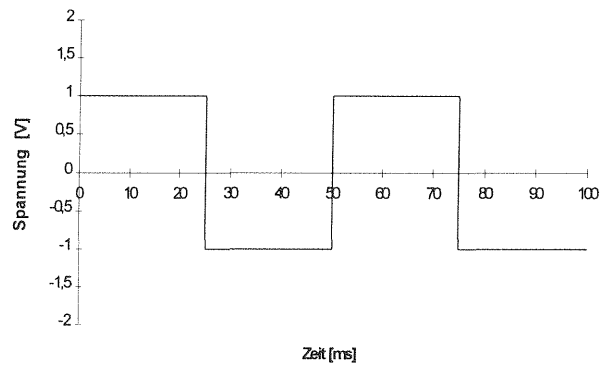


Bild 1: Prüfspannung als Wechselfeldspannung; Rechtecksignal hier mit +1V und -1V

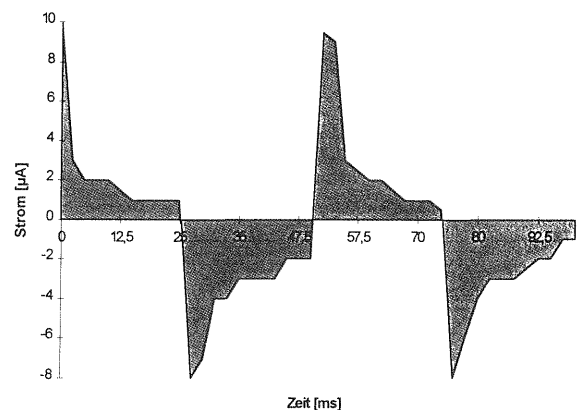


Bild 2: Stromfluß aufgrund der Prüfspannung

Auf die Beschichtung wird ein Nadelkontakt, der durch Magnetfüße selbsthaftend ist, gesetzt. Dadurch entsteht nach Durchdringen der Nadel durch die Beschichtung ein metallischer Kontakt zum Untergrund. Ein Vlies wird an einer unverletzten Stelle auf die zu untersuchende Beschichtung gelegt und über eine Spritze mit einer Elektrolytlösung getränkt. Auf das mit der Elektrolytlösung getränkte Vlies wird eine magnetisch haftende Elektrode mit fünf Füßen gelegt und über ein Gerät eine Prüfspannung (Wechselfeldspannung mit 20 Hz, Rechtecksignal, siehe Bild 1) angelegt. Aufgrund der Prüfspannung fließt Strom (Bild 2). In der Beschichtung ist das ein Ionenstrom. Deshalb ist die Stromstärke von der Art und Menge der Elektrolytlösung, von der Größe der befeuchteten Fläche und von den Strompfaden in der Beschich-

tung, d.h. davon, wie dicht die Beschichtung ist, abhängig.

Es gibt zwei Wege zur Darstellung der Meßwerte. Bei der Einstellung des Gerätes auf „Intervall“ wird der Strom in μA abgelesen. Bei der Einstellung des Gerätes auf „Mittelwert“ werden die schattierten Flächen (Bild 2) über einen Doppelweggleichrichter in eine Ebene geklappt (Absolutwert), über einen Speicherkondensator integriert, und kontinuierlich der Mittelwert ermittelt. Dieser Meßwert ist proportional zu den Strompfaden in der Beschichtung. Bei einer Beschichtung, die dicht ist, ist der Ionenfluß erschwert, und der Meßwert bleibt klein. Bei einer Beschichtung, die Poren und Risse hat, ist der Meßwert entsprechend groß.

Bei den Untersuchungen wurde nur bei Einstellung des Gerätes auf „Mittelwert“ gemessen.

3 Vorgehensweise

3.1 Vorbereitung der Probenplatten

Für die Versuche wurden Platten aus S 235 JR (St 37-2) der Abmessungen 140 mm x 250 mm x 2 mm angefertigt. Sie wurden bis zum Norm-Reinheitsgrad Sa 2½ [9] gestrahlt und beschichtet, hauptsächlich durch Streichen (einige Probenplatten wurden mit Rakel beschichtet). Als Beschichtungssysteme wurden drei aus heutiger Sicht typische Korrosionsschutzsysteme für Brückenbauwerke im Bereich der Bundesfernstraßen ausgewählt. Es handelt sich hier um Beschichtungssysteme mit den Bindemitteln: Polyvinylchlorid (PVC), 2-Komponenten-Epoxidharz/Polyurethan (EP/PUR) und 1-Komponenten-Polyurethan (1 K PUR). Alle Beschichtungssysteme haben eine Zulassung nach TL 918 300, Teil 2 der Deutschen Bahn AG [10] und zwar PVC nach Blatt 77 [11], EP/PUR nach Blatt 87 [12] und 1 K PUR nach Blatt 89 [13]. Die TL 918 300, Teil 2 ist gemäß ZTV-KOR auch Grundlage für die Lieferung der Beschichtungssysteme im Bereich der Bundesfernstraßen.

Alle Probenplatten tragen eine dreiziffrige Kennzeichnung. Die erste Ziffer steht für das Beschichtungssystem, „1“ für PVC, „2“ für EP/PUR und „3“ für 1 K PUR. Die zweite Ziffer steht für die Anzahl der Schichten. Jedes Beschichtungssystem wurde 1-, 2-, 3- und 4-schichtig aufgetragen. Die dritte Ziffer steht für die Probennummer bei Probenplatten mit dem gleichen Beschichtungssystem und der gleichen Schichtanzahl. Es wurden jeweils drei gleiche Probenplatten für alle gewählten Kombinationen hergestellt. Somit ist z.B. die Probenplatte mit der Kennzeichnung 131 die erste der drei Pro-

benplatten mit einem 3-schichtigen PVC-Beschichtungssystem.

Vor der Untersuchung wurden die Proben mindestens 2 Wochen lang im Normklima 23/50 nach DIN EN 23270 [14] gelagert.

3.2 Elektrolytlösungen

Zwei Elektrolytlösungen wurden für die Messungen vorbereitet.

Die Elektrolytlösung I (NaCl) enthält 3 % NaCl in entionisiertem Wasser. Die Leitfähigkeit dieser Elektrolytlösung I beträgt 42,2 mS.

Die Elektrolytlösung II (mit Tensid) enthält 10 % Ethylalkohol, 0,5 % Mucosol (Tensid) und 0,5 % NaCl in entionisiertem Wasser. Die Leitfähigkeit dieser Lösung beträgt 7,4 mS.

3.3 Korrosionsbelastung

Als künstliche Belastung der Beschichtungen wurde die Salzsprühnebelbelastung nach DIN 50021 - SS [14] angewandt.

3.4 Auswahl der Prüfspannung

Die Prüfspannung ist am Gerät von 0 bis 10 V in Schritten von 0,1 V einstellbar. Der Meßwert steigt mit steigender Prüfspannung. Zu hohe Prüfspannung führt zur Überschreitung des Meßbereiches. Zu niedrige Prüfspannung führt zu sehr kleinen Meßwerten, weil dabei die Strompfade in der Beschichtung nicht aktiviert werden. Eine Differenzierung der Meßergebnisse ist dann nicht möglich.

Nach einigen Vorversuchen wurden für alle 1-Schichtsysteme 1,2 V als Prüfspannung gewählt. Für alle 4-Schichtsysteme wurden 10 V als Prüfspannung festgelegt. Für 2- und 3-Schichtsysteme mit PVC und EP/PUR-Beschichtung wurde ebenfalls eine Prüfspannung von 10 V festgelegt. Für 2- und 3-Schichtsysteme mit 1 K PUR-Beschichtung wurden nur unbelastete Probenplatten mit einer Prüfspannung von 10 V untersucht. Nach der Belastung mußte hier die Prüfspannung wegen Überschreitung des Meßbereiches auf 1,2 V reduziert werden.

3.5 Durchführung der Messungen

Auf jeder Probenplatte wurden vier Meßflächen á 5 cm x 5 cm (Vliesgröße) vorgesehen. Vor der ersten Messung wurden an jeder der Probenplatten die Meßflächen dauerhaft gekennzeichnet.

An jeder Meßfläche wurden 10 Messungen der Schichtdicke durchgeführt. Das Minimum, das Maximum und der Mittelwert der Gesamtschichtdicke jeder Meßfläche wurden dokumentiert.

Das Meßgerät wurde auf seine Funktionstüchtigkeit auf einer Kontrollplatte geprüft. Der runde Nadelkontakt wurde dann an der rechten oberen Ecke der Probeplatte durch die Beschichtung gedrückt. Das Meßgerät wurde auf „Mittelwert“ geschaltet. Die Prüfspannung wurde eingestellt und das Gerät vorerst abgeschaltet. Dann wurde auf jede Meßfläche Vlies gelegt. Die Vliese an den Meßflächen Ia und Ib wurden mit einer Spritze mit Elektrolytlösung I und die an den Meßflächen IIa und IIb mit Elektrolytlösung II getränkt. Das Volumen der Elektrolytlösung, mit dem jedes Vlies getränkt wurde, betrug $1,5 \text{ cm}^3$. Für jede Elektrolytlösung stand eine gekennzeichnete Spritze zur Verfügung. Die rechteckige Elektrode wurde auf eine Meßfläche gelegt und das Gerät eingeschaltet. Die Stoppuhr wurde eingeschaltet. Nach 1 Minute wurde der erste Meßwert abgelesen und dokumentiert. Die weiteren Messungen erfolgten nach 10, 20, 30, 40 und 50 Minuten. Später wurde die Anzahl der Messungen auf Messungen nach 1 Minute, 10 und 20 Minuten reduziert. Nach der Messung wurde die Probeplatte jeweils mit entionisiertem Wasser abgespült und abgetrocknet.

Vor der ersten Belastung im Salzsprühnebel wurden die Kanten jeder Probeplatte zusätzlich durch eine Wachsschicht geschützt. Die Messungen wurden vor der ersten Belastung und jeweils nach jeder 7-tägigen Dauerbelastung durchgeführt. Vor jeder Messung wurde die Probeplatte mit entionisiertem Wasser abgespült und abgetrocknet.

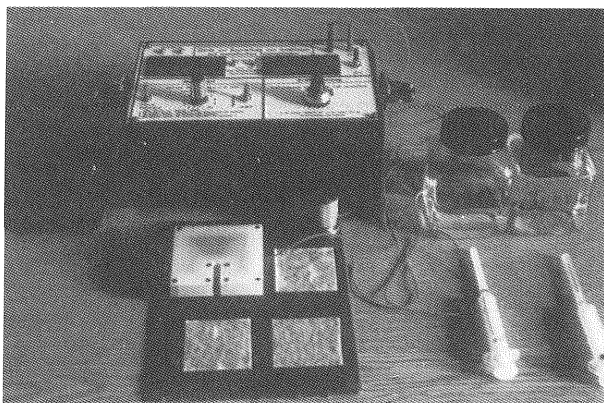


Bild 3: Meßeinrichtung

4 Diskussion der Meßergebnisse

Für die Diskussion der Einflüsse der Prüfspannung, der Elektrolytlösung, der Schichtdicke und der Belastungsdauer auf den Meßwert wurden nur die nach 20 Minuten abgelesenen Meßwerte verwendet.

4.1 Einfluß der Prüfspannung auf den Meßwert

Im Prüfspannungsbereich von 0 V bis 2 V ist der Zusammenhang zwischen dem Meßwert und der Prüfspannung nahezu linear (Korrelationskoeffizienten zwischen 0,97 und 0,99, siehe auch Bilder 4, 5 und 6).

Für 1-Schicht-Probeplatten wurden die linearen Gleichungen berechnet, die den Zusammenhang zwischen Prüfspannung (x) und Meßwert (y) beschreiben:

für PVC, ohne Belastung, Elektrolytlösung NaCl:

$$y = 403x - 130 \quad (1)$$

für PVC, ohne Belastung, Elektrolytlösung mit Tensid:

$$y = 665x - 78 \quad (2)$$

für PVC, nach 1 Woche Salzsprühnebelbelastung, Elektrolytlösung NaCl:

$$y = 1072x + 11 \quad (3)$$

für PVC, nach 1 Woche Salzsprühnebelbelastung, Elektrolytlösung mit Tensid:

$$y = 1056x + 8 \quad (4)$$

für EP/PUR, ohne Belastung, Elektrolytlösung NaCl:

$$y = 389x - 228 \quad (5)$$

für EP/PUR, ohne Belastung, Elektrolytlösung mit Tensid:

$$y = 549x - 158 \quad (6)$$

für EP/PUR, nach 1 Woche Salzsprühnebelbelastung, Elektrolytlösung NaCl:

$$y = 1035x + 9 \quad (7)$$

für EP/PUR, nach 1 Woche Salzsprühnebelbelastung, Elektrolytlösung mit Tensid:

$$y = 1008x + 1 \quad (8)$$

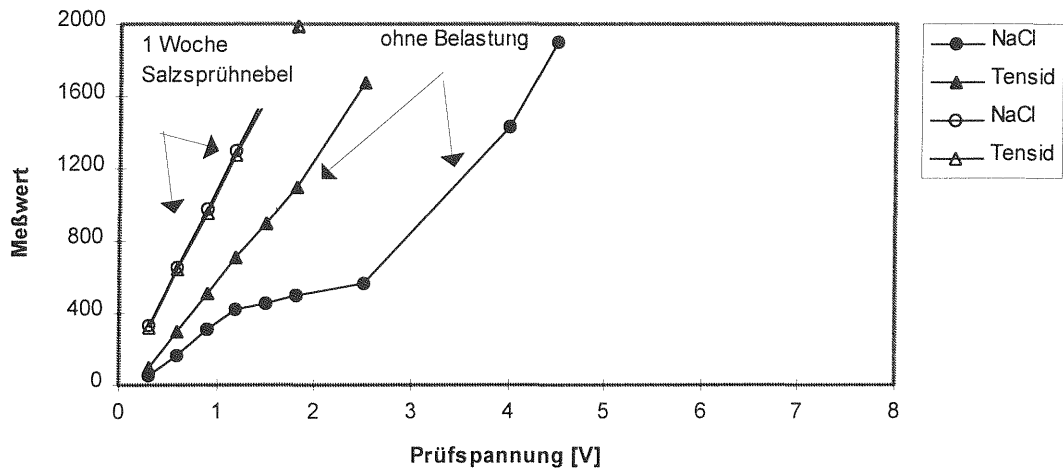


Bild 4: Abhängigkeit des Meßwertes von der Prüfspannung im Bereich von 0 V bis 5 V bei 1-Schicht-PVC-Beschichtung

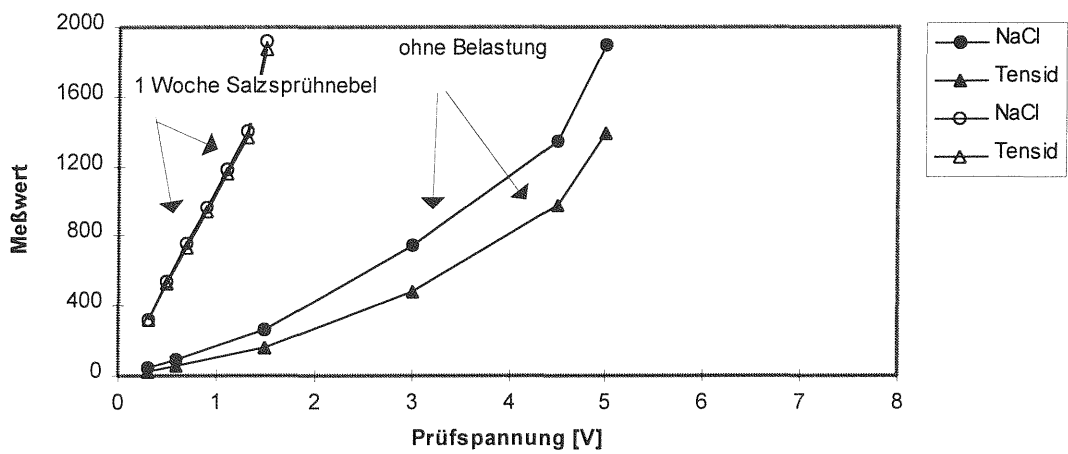


Bild 5: Abhängigkeit des Meßwertes von der Prüfspannung im Bereich von 0 V bis 5 V bei 1-Schicht-EP/PUR-Beschichtung

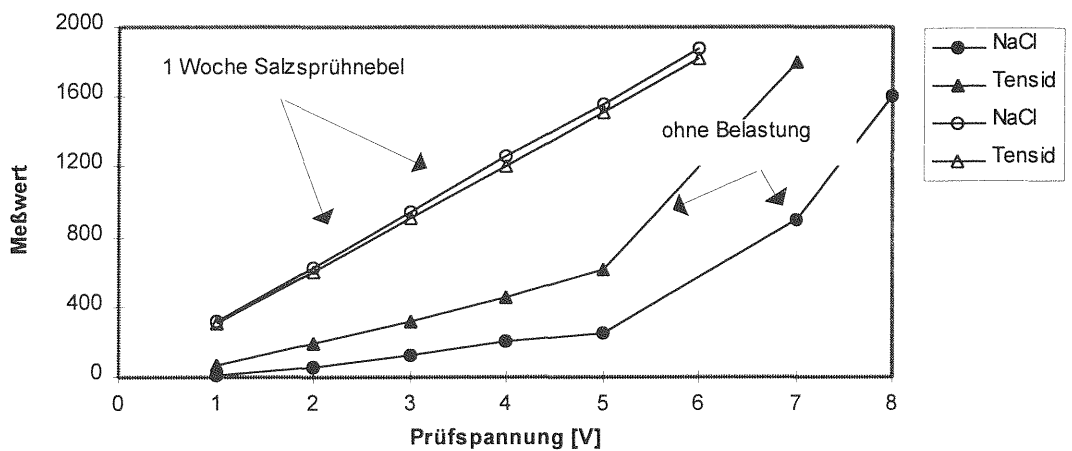


Bild 6: Abhängigkeit des Meßwertes von der Prüfspannung im Bereich von 0 V bis 8 V bei 1-Schicht-1K PUR-Beschichtung

für 1K PUR, ohne Belastung, Elektrolytlösung NaCl

$$y = 368x - 182 \quad (9)$$

für 1K PUR, ohne Belastung, Elektrolytlösung mit Tensid:

$$y = 271x - 157 \quad (10)$$

für 1K PUR, nach 1 Woche Salzsprühnebelbelastung, Elektrolytlösung NaCl:

$$y = 1076x + 276 \quad (11)$$

für 1K PUR, nach 1 Woche Salzsprühnebelbelastung, Elektrolytlösung mit Tensid:

$$y = 1053x + 269 \quad (12)$$

Die Proportionalitätsfaktoren sind unterschiedlich je nach Belastung, Elektrolytlösung und Beschichtungssystem. Die lineare Abhängigkeit zwischen der Prüfspannung und dem Meßwert

gilt nur für Prüfspannungen bis etwa 2 V. Bei steigender Prüfspannung oberhalb 2 V steigt der Meßwert überproportional.

4.2 Einfluß der Elektrolytlösung auf den Meßwert

Für die Untersuchungen wurden, wie vorstehend beschrieben, zwei Elektrolytlösungen vorbereitet. Die Elektrolytlösung I enthält wesentlich mehr Ionen, und ihre Leitfähigkeit ist deshalb etwa sechsmal größer als die der Elektrolytlösung II. Die Elektrolytlösung II enthält Tensid, das die hydrophoben (wasserabweisenden) Poren in der Beschichtung für den Ionentransport öffnen soll. Es wurde vermutet, daß der Meßwert proportional zur Leitfähigkeit der Elektrolytlösung ist.

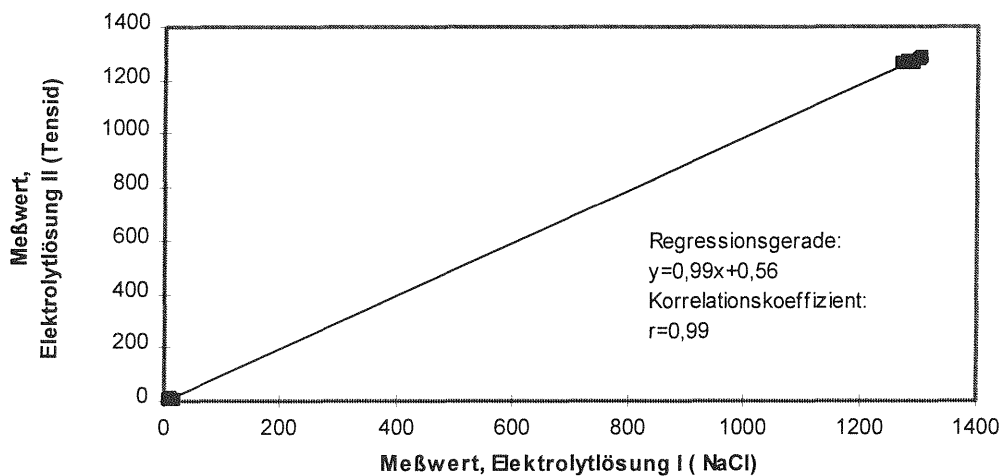


Bild 7: Vergleich der Meßwerte mit Elektrolytlösungen I (NaCl) und II (Tensid) beim PVC-Beschichtungssystem nach einer Woche Salzsprühnebelbelastung

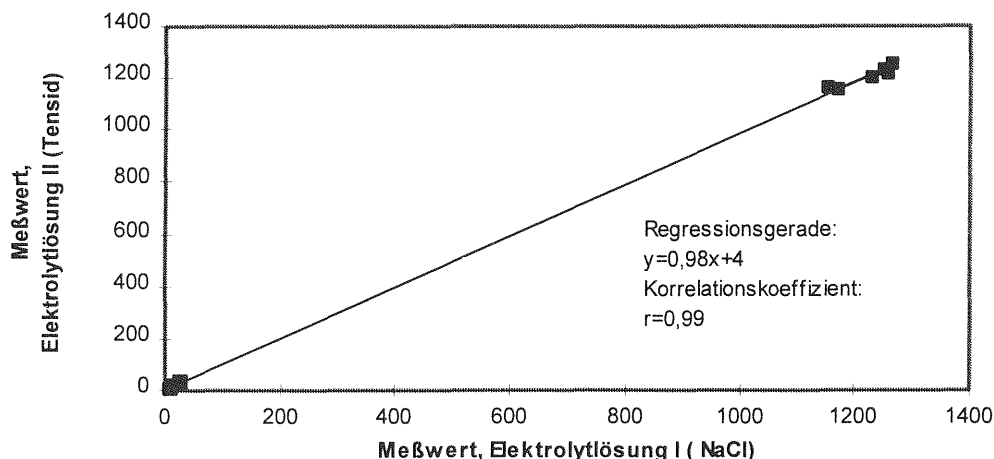


Bild 8: Vergleich der Meßwerte mit Elektrolytlösungen I (NaCl) und II (Tensid) beim EP/PUR-Beschichtungssystem nach einer Woche Salzsprühnebelbelastung

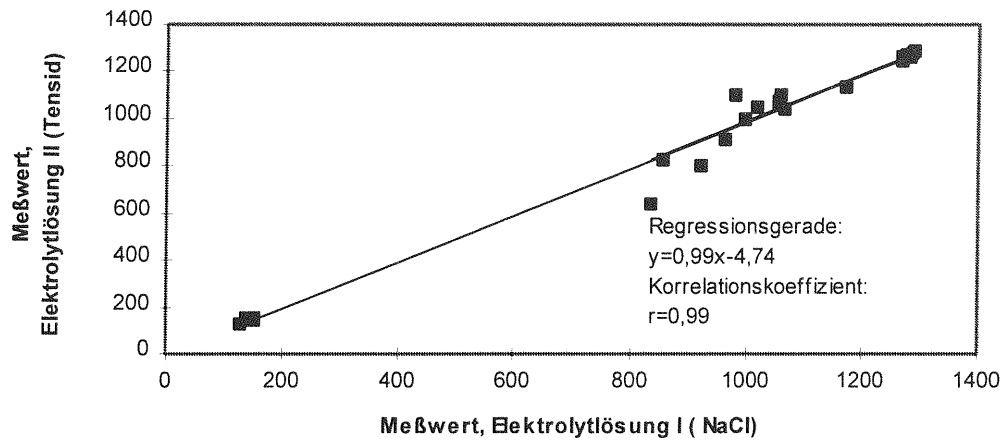


Bild 9: Vergleich der Meßwerte mit Elektrolytlösungen I (NaCl) und II (Tensid) beim 1 K-PUR-Beschichtungssystem nach einer Woche Salzsprühnebelbelastung

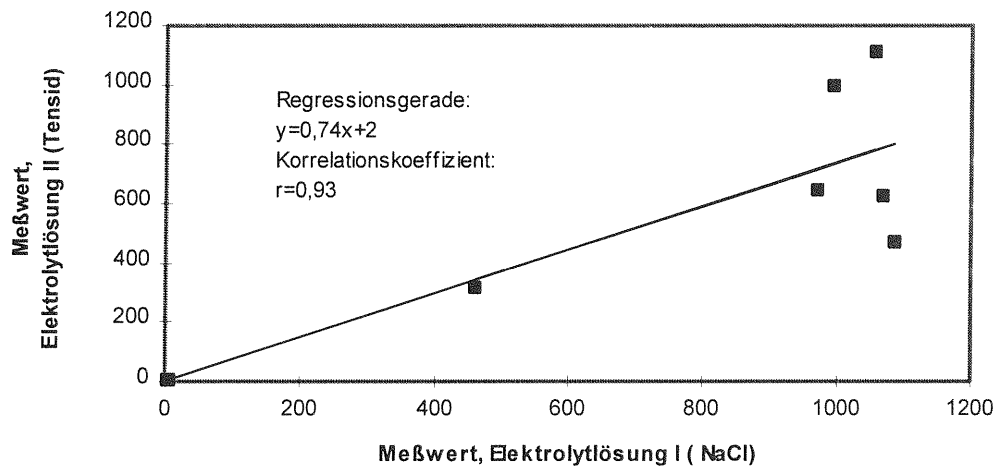


Bild 10: Vergleich der Meßwerte mit Elektrolytlösungen I (NaCl) und II (Tensid) beim PVC-Beschichtungssystem ohne Belastung

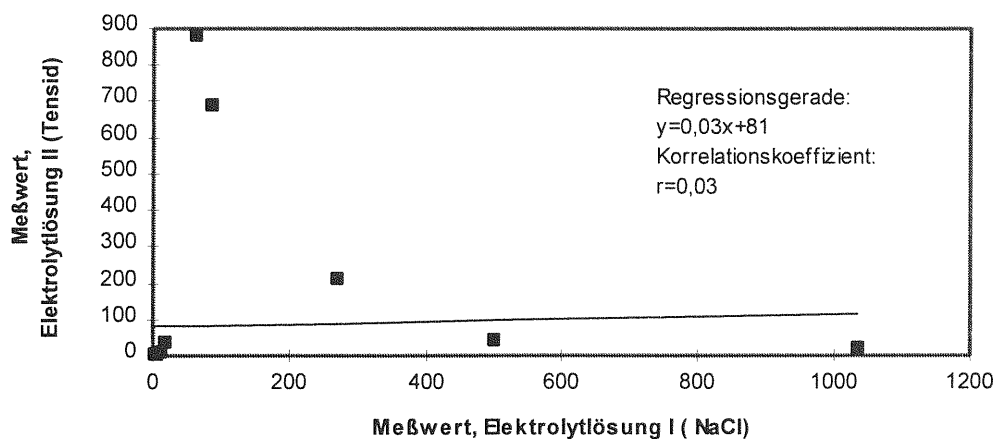


Bild 11: Vergleich der Meßwerte mit Elektrolytlösungen I (NaCl) und II (Tensid) beim EP-Beschichtungssystem ohne Belastung

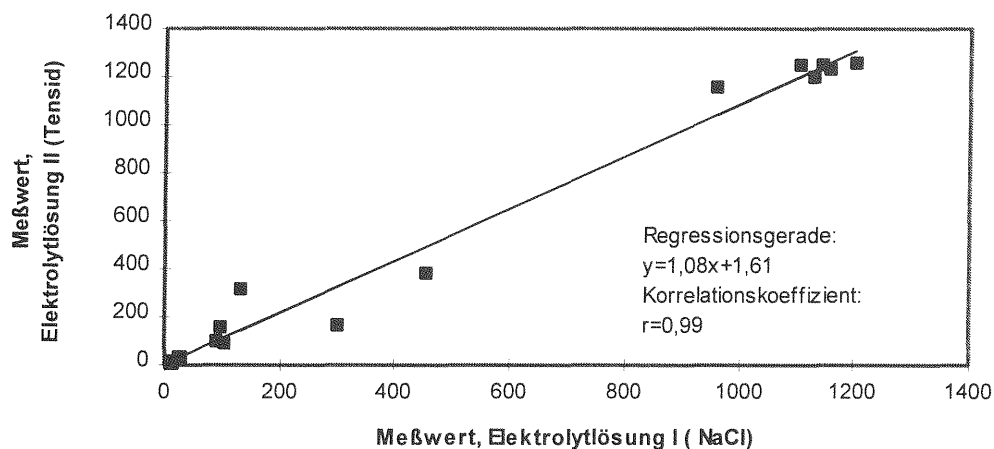


Bild 12: Vergleich der Meßwerte mit Elektrolytlösungen I (NaCl) und II (Tensid) beim 1 K PUR-Beschichtungssystem ohne Belastung

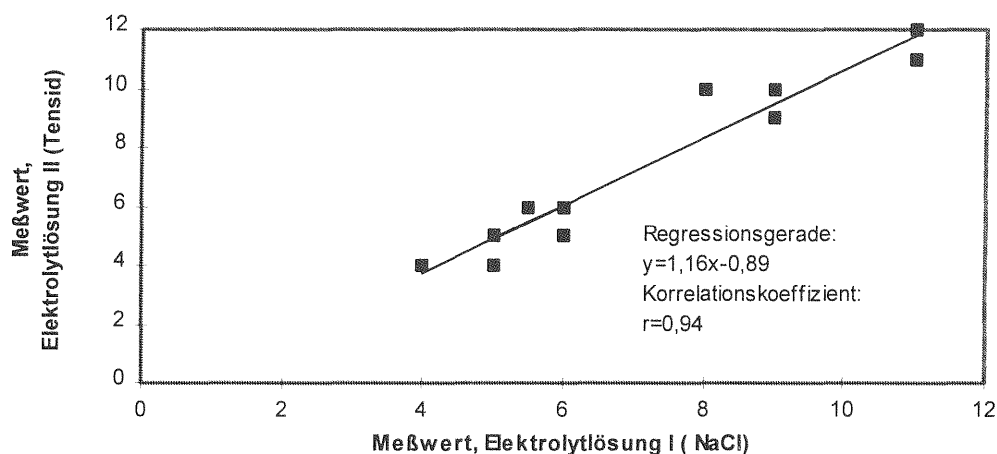


Bild 13: Vergleich der Meßwerte mit Elektrolytlösungen I (NaCl) und II (Tensid) beim 2-, 3- und 4-schichtigen EP/PUR-Beschichtungssystem ohne Belastung

Der Einfluß der Leitfähigkeit der Elektrolytlösung auf den Meßwert nach der Belastung im Salzsprühnebel ist gering oder sogar vernachlässigbar, weil die Beschichtung mit Salz „verseucht“ und die Leitfähigkeit der Elektrolytlösung durch die Ionen in der Beschichtung erhöht wird. Das zeigten auch einige Versuche mit deionisiertem Wasser als „Elektrolytlösung“. Bei belasteten Proben weichen die Meßwerte bei Anwendung der Elektrolytlösungen I und II und des deionisierten Wassers nur unwesentlich oder gar nicht voneinander ab. Die Proportionalitätsfaktoren in den Gleichungen (3), (7) und (11) und die in den Gleichungen (4), (8) und (12) sind annähernd gleich, was ebenfalls auf die Unabhängigkeit des Meßwertes von den hier angewendeten Elektrolytlösungen bei im Salzsprühnebel belasteten Probenplatten hinweist.

In den Gleichungen (1), (5) und (9) sind die Proportionalitätsfaktoren kleiner, aber durchaus vergleichbar mit denen in den Gleichungen (2), (6) und (10). Es handelt sich hier um unbelastete Probenplatten.

In den Bildern 7 bis 13 sind die Meßwerte, die mit der Elektrolytlösung II gemessen worden sind, über die Meßwerte, die mit der Elektrolytlösung I gemessen worden sind, aufgetragen. Die Bilder 7, 8 und 9 betreffen entsprechend PVC-, EP/PUR- und 1 K PUR-Beschichtungssysteme nach 1-wöchiger Belastung. Die Regressionsgeraden, die durch die Methode der kleinsten Quadrate ermittelt worden sind, besitzen den Richtungskoeffizient von 0,98 bzw. 0,99. Die Korrelationskoeffizienten (r) betragen 0,99. Die Bilder 10, 11, 12 und 13 betreffen die

Meßwerte der unbelasteten Probeplatten. Hier betragen die Richtungskoeffizienten 0,74 für PVC-, 0,03 für EP/PUR- und 1,08 für 1 K PUR-Beschichtungssysteme. Für PVC- und 1 K PUR-Beschichtungssysteme korrelieren also die Meßwerte mit verschiedenen Elektrolytlösungen sehr gut ($r=0,93$ und $r=0,99$) miteinander. Die fehlende Korrelation ($r=0,03$) der Meßwerte für das EP/PUR-Beschichtungssystem ist durch eine Unregelmäßigkeit der Meßwerte bei den 1-Schicht-Probeplatten gegeben. Im Bild 13 ist die gleiche Abhängigkeit für EP/PUR-Beschichtungssysteme wie im Bild 11 gezeigt, jedoch unter Ausschluß der Meßergebnisse von 1-Schicht-Probeplatten. Hier betragen der Richtungskoeffizient der Regressionsgeraden 1,16 und der Korrelationskoeffizient 0,94.

Auf der Oberfläche der Altbeschichtungen von Brücken, besonders an den Untersichten, sind häufig kristalline Salzablagerungen, die fein- bis grobkörnig sein können, vorhanden [16]. Die Beschichtungen sind im Laufe der Jahre durch Umwelteinflüsse belastet. Die dabei auf der Oberflächen abgelagerten Salze sind Immisionsprodukte oder deren Reaktionsprodukte mit anorganischen Bestandteilen der Beschichtung. Somit kann man die Altbeschichtungen mit den im Salzsprühnebel belasteten Beschichtungen vergleichen. Es wird daher empfohlen, bei den weiteren Versuchen an Bauwerken hauptsächlich die Elektrolytlösung mit 3%-NaCl ohne Tensid als Elektrolytlösung zu benutzen.

Für die weitere Auswertung wurden nur die Meßwerte in Betracht gezogen, die durch die Messungen mit dem Elektrolyt I (NaCl) ermittelt wurden.

4.3 Einfluß der Schichtdicke der Beschichtung auf den Meßwert

Bei den Probeplatten mit 1-, 2-, 3- und 4-schichtigem Beschichtungsaufbau lagen an den Meßflächen Schichtdicken von ca. 60 μm bis 380 μm vor. In diesem Schichtdickenbereich wurde also der Einfluß der Schichtdicke auf den Meßwert untersucht.

In den Bildern 14, 15 und 16 sind für PVC-, EP/PUR- und 1 K PUR-Beschichtungssysteme die Meßwerte über die Schichtdicke aufgetragen. Diese Messungen wurden an unbelasteten Probeplatten mit der Elektrolytlösung I durchgeführt. Diese Darstellung berücksichtigt nicht, daß die 1-Schicht-Beschichtungen mit einer Prüfspannung von 1,2 V und die Mehrschicht-Beschichtungen mit 10 V Prüfspannung gemessen worden sind, da ein

Umrechnungsfaktor für den Prüfspannungsbereich nicht ermittelt werden konnte. Die Meßwerte der 1-Schicht-Beschichtungen liegen aber bis auf zwei Messungen deutlich höher als die der Mehrschicht-Beschichtungen.

Bei PVC- und EP/PUR-Beschichtungssystemen reicht die Schichtdicke von ca. 180 μm aus, um ohne Belastung den Meßwert klein (unter 20) zu halten. Bei 1 K PUR liegt diese Grenze bei 200 μm .

In den Bildern 17, 18 und 19 sind auch für PVC-, EP/PUR- und 1 K PUR-Beschichtungssysteme die Meßwerte nach 1-wöchiger Belastung im Salzsprühnebel über die Schichtdicke aufgetragen. Bei 2-, 3- und 4-schichtigen PVC- und EP/PUR-Beschichtungssystemen wurde mit der Prüfspannung von 10 V und bei 1-schichtigem Aufbau mit 1,2 V gemessen. Bei 1 K PUR nach der Belastung wurden für den 4-schichtigen Aufbau 10 V als Prüfspannung und für 1-, 2- und 3-schichtigen Aufbau 1,2 V als Prüfspannung angewendet. Beim PVC-Beschichtungssystem hat sich die 1-wöchige Belastung durch Salzsprühnebel hauptsächlich auf die Erhöhung der Meßwerte bei 1-Schicht-Probeplatten ausgewirkt (siehe Bild 17). Diese sechs Meßwerte liegen dicht beieinander bei einem Wert um 1300. Ohne Belastung lagen fünf der sechs dieser Meßwerte bei 1000, und ein Meßwert betrug 460. Ähnlich (siehe Bild 18) hat sich die Belastung auf die Probeplatten mit EP/PUR-Beschichtungssystemen ausgewirkt. Hier ist zusätzlich auffallend, daß nicht nur die Schichtdicke, sondern auch die Anzahl der Schichten für die Meßwerte von Bedeutung ist. Die Schichtdicken an den Meßflächen der Probeplatte Nr. 212 betragen 225 μm und 184 μm . Dies ist sehr hoch und liegt im Schichtdickenbereich von 2-schichtigen Probeplatten. Jedoch sind bei vergleichbarer Schichtdicke die Meßwerte der 2-Schicht-Probeplatten deutlich niedriger als die der 1-Schicht-Probeplatten (siehe Bild 18). Der Schichtdicken-Grenzwert blieb bei PVC- und EP/PUR-Beschichtungssystemen nach der Belastung bei 180 μm . Bei dem 1 K PUR-Beschichtungssystem führte die Salzsprühnebelbelastung zu einer deutlichen Steigerung der Meßwerte (siehe Bild 19). Auch 2- und 3-Schicht-Probeplatten erreichten bei einer Prüfspannung von 1,2 V die Meßwerte von 800 bis 1300. An den 4-Schicht-Probeplatten wurde ca. 150 gemessen. Der Schichtdicken-Grenzwert für dieses Beschichtungssystem hat sich nach der Belastung von 200 μm auf 300 μm verschoben.

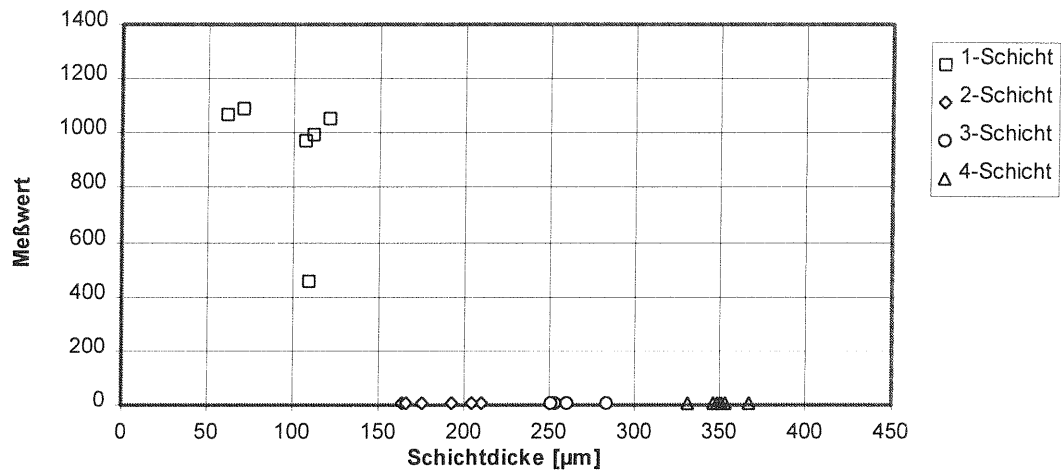


Bild 14: Einfluß der Schichtdicke auf den Meßwert. Beschichtungssystem: PVC; Belastung: ohne; Elektrolytlösung I.

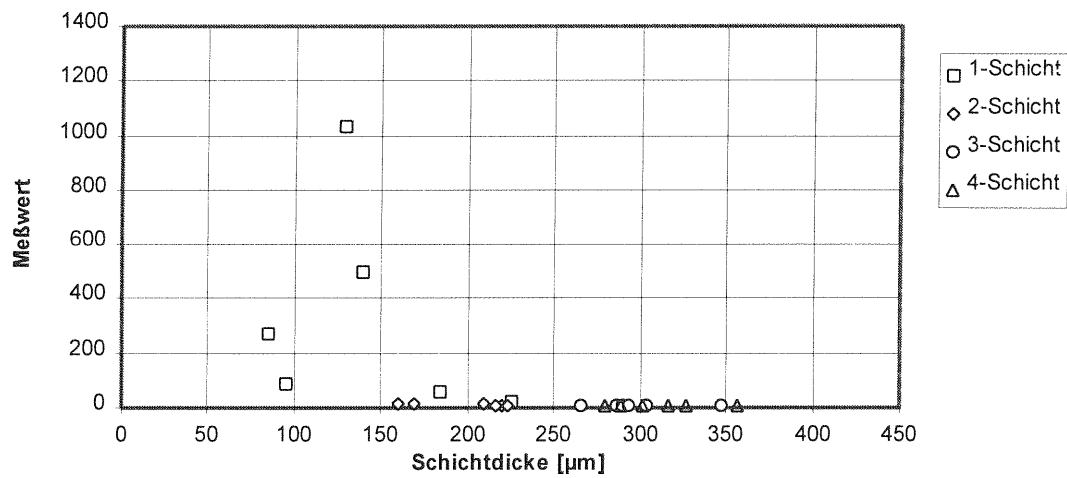


Bild 15: Einfluß der Schichtdicke auf den Meßwert. Beschichtungssystem: EP/PUR; Belastung: ohne; Elektrolytlösung I.

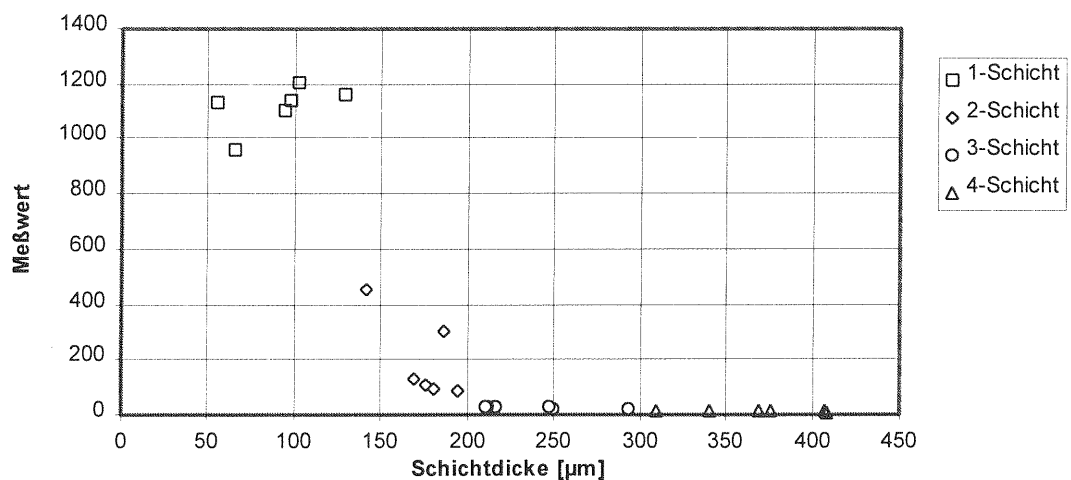


Bild 16: Einfluß der Schichtdicke auf den Meßwert. Beschichtungssystem: 1 K PUR; Belastung: ohne; Elektrolytlösung I.

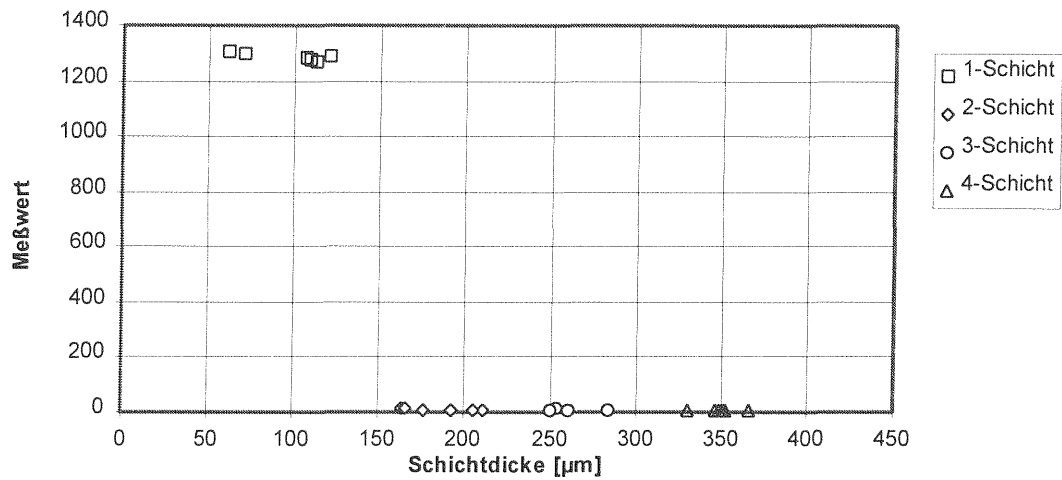


Bild 17: Einfluß der Schichtdicke auf den Meßwert. Beschichtungssystem: PVC; Belastung: 1 Woche Salzsprühnebel; Elektrolytlösung I.

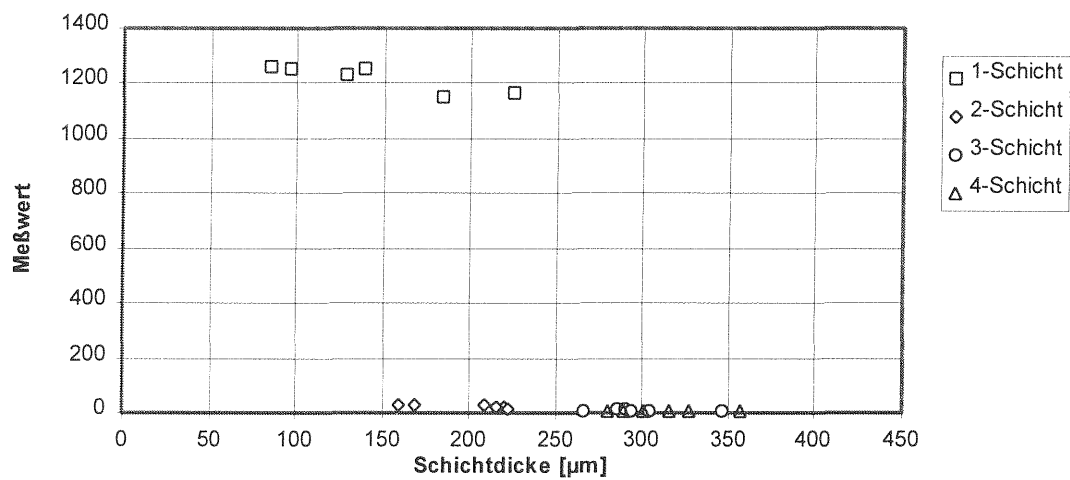


Bild 18: Einfluß der Schichtdicke auf den Meßwert. Beschichtungssystem: EP/PUR; Belastung: 1 Woche Salzsprühnebel; Elektrolytlösung I.

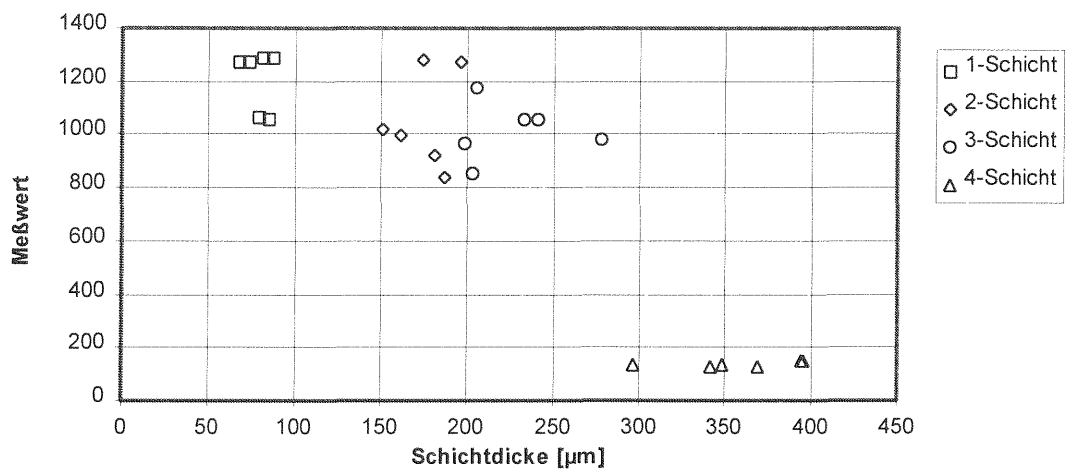


Bild 19: Einfluß der Schichtdicke auf den Meßwert. Beschichtungssystem: 1 K PUR; Belastung: 1 Woche Salzsprühnebel; Elektrolytlösung I.

In vereinfachter Form kann man die Abhängigkeit des Meßwertes von der Schichtdicke als „Treppenfunktion“ bezeichnen. Bis zu einer gewissen Schichtdicke sind die Meßwerte hoch (Ionen-transport sehr gut). Danach sind die Meßwerte mit steigender Schichtdicke niedrig (Ionen-transport stark behindert). Mit Hilfe dieses Meßverfahrens könnten auch Schichtdicken-Grenzwerte für ein Beschichtungssystem ermittelt werden.

4.4 Einfluß der künstlichen Alterung durch Salzsprühnebelbelastung und der Bindemittelart auf den Meßwert

Die Salzsprühnebelbelastung nach DIN 50 021 ist eine künstliche, beschleunigte Alterung der Beschichtung. Die Probeplatten sind dabei einem $(35\pm 2)^\circ\text{C}$ warmen Salzsprühnebel, der aus einer Prüflösung mit 5% NaCl erzeugt wird, ausgesetzt. Die Belastungsdauer wurde für 7 Wochen geplant. Sie wurde jede Woche für ca. 2 Stunden zur Messung der Dichtigkeit unterbrochen. Bei 1-Schichtsystemen wurden die Belastung und die Messungen wegen Überschreitung des Meßbereiches nach 3 Wochen bei EP/PUR- und nach 6 Wochen bei 1 K PUR-Probeplatten abgebrochen. Die 2-, 3- und 4-Schicht-Probeplatten des PVC-Beschichtungssystems wurden darüber hinaus bis zu 20 Wochen belastet und geprüft, und 1 K PUR bis zu 13 Wochen.

In den Bildern 20, 21 und 22 sind die Meßwerte von jeweils einer der Probeplatten mit 1-, 2-, 3- und 4-schichtigem Beschichtungsaufbau über die Belastungsdauer (in Wochen) aufgetragen.

Im Bild 20 sind die Meßwerte für das PVC-Beschichtungssystem dargestellt. Die Salzsprühnebelbelastung führte nach einer Woche zu einer Steigerung der Werte der 1-Schicht-Probeplatte von ca. 450 auf ca. 1300. Weitere 6 Wochen Belastung führte bei diesen Probeplatten zu keiner Verschlechterung der Meßwerte. Bei 2-, 3- und 4-Schicht-PVC-Probeplatten sind die Meßwerte auch nach 20 Wochen Belastung klein (unter 40) geblieben. Im Bild 23 sind nur die Meßwerte dieser Pro-

beplatten dargestellt. Bis zur 8. Woche der Belastung waren die Meßwerte konstant, und zwar je mehr Schichten desto niedriger war der Meßwert. Ab der ca. 10. Woche wurde der Meßbereich der 2-Schicht-Probeplatten überschritten, und die Meßwerte variierten im Bereich 4 bis 40. Ähnlich wie die Meßwerte der PVC-Probeplatten sind die Meßwerte der EP/PUR-Probeplatten (siehe Bild 21). Nach der ersten Woche der Belastung stieg der Meßwert der 1-Schicht-Probeplatte von 1000 auf 1200 und nach 3 Wochen wurde schon der Meßbereich überschritten. Die Meßwerte der 2-, 3- und 4-Schicht-Probeplatten blieben nach 7-wöchiger Belastung unter 15 (siehe Bild 24).

Andere Werte als bei PVC- und EP/PUR-Probeplatten wurden bei 1 K PUR gemessen (siehe Bild 22). Nach der ersten Woche der Belastung stieg der Meßwert der 1-Schicht-Probeplatte von ca. 1200 auf ca. 1300 und blieb bis zur 11. Woche der Belastung konstant. Die Meßwerte der 2- und 3-Schicht-Probeplatten stiegen schon nach der 1-wöchigen Belastung über den Meßbereich hinaus bei einer Prüfspannung von 10 V, so daß die Prüfspannung auf 1,2 V reduziert werden mußte. Trotzdem blieben die Meßwerte sehr hoch (ca. 880 und 1000). Nach 2 Wochen Belastung erreichte die 2-Schicht-Probeplatte einen Meßwert um 1300 und die 3-Schicht-Probeplatte nach 4 Wochen. Der Meßwert der 4-Schicht-Probeplatte stieg direkt nach der ersten Woche der Belastung auf ca. 180. Die niedrigeren Werte nach der 5. und 11. Woche der Belastung sind damit zu erklären, daß die Untersuchung unterbrochen worden war und die weitere Belastung nach einer Ruhezeit von einem bzw. zwei Monaten fortgesetzt wurde. Die Beschichtung konnte sich in dieser Zeit regenerieren.

Der Einfluß der Salzsprühbelastung auf die Beschichtungen und die Meßwerte war unterschiedlich. Die EP/PUR- und PVC-Probeplatten reagierten auf die Belastung vergleichbar. Die 1 K PUR-Probeplatten zeigten nach der Salzsprühnebelbelastung deutlich höhere Meßwerte als die EP/PUR- und PVC-Probeplatten. Dies ist wahrscheinlich auf die unterschiedlichen Quelleigenschaften dieser Beschichtungen zurückzuführen.

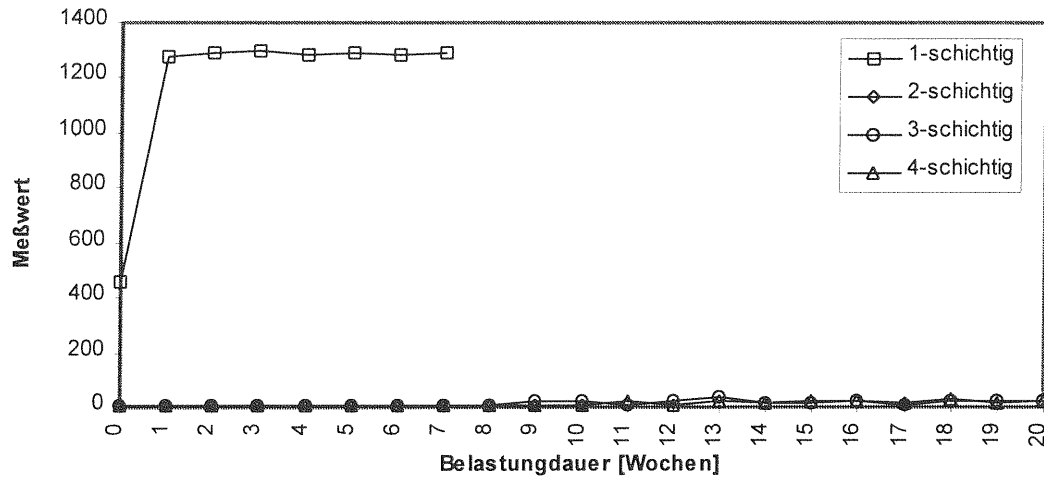


Bild 20: Einfluß der Belastungsdauer durch Salzsprühnebel auf den Meßwert. Beschichtungssystem: PVC; Elektrolytlösung I.

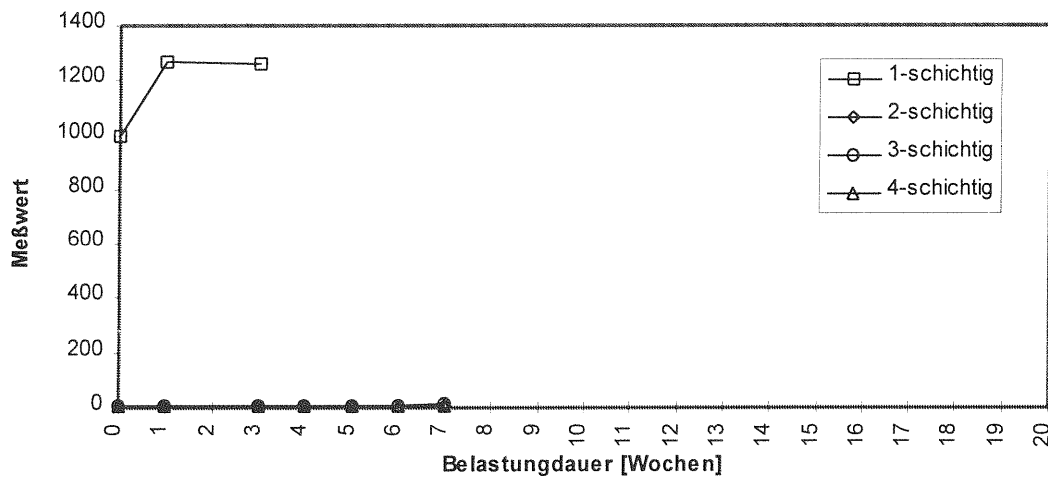


Bild 21: Einfluß der Belastungsdauer durch Salzsprühnebel auf den Meßwert. Beschichtungssystem: EP/PUR; Elektrolytlösung I.

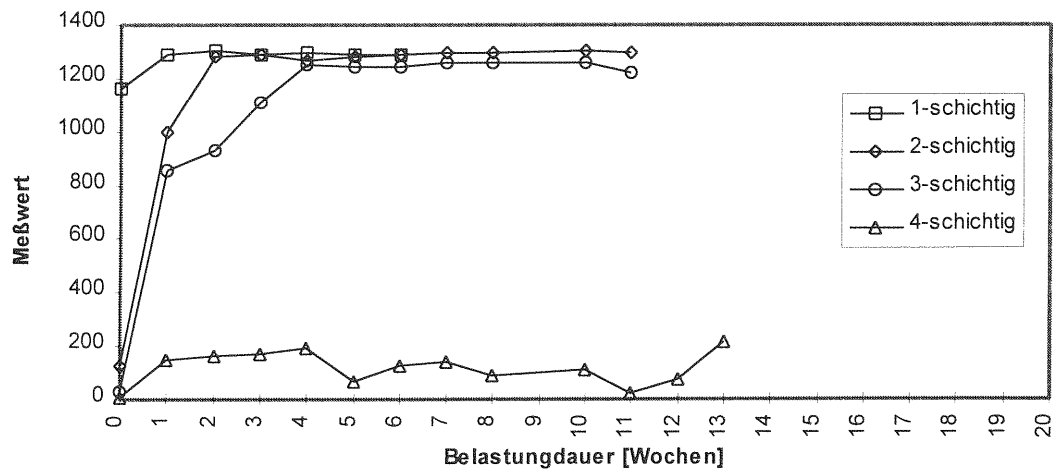


Bild 22: Einfluß der Belastungsdauer durch Salzsprühnebel auf den Meßwert. Beschichtungssystem: 1 K PUR; Elektrolytlösung I.

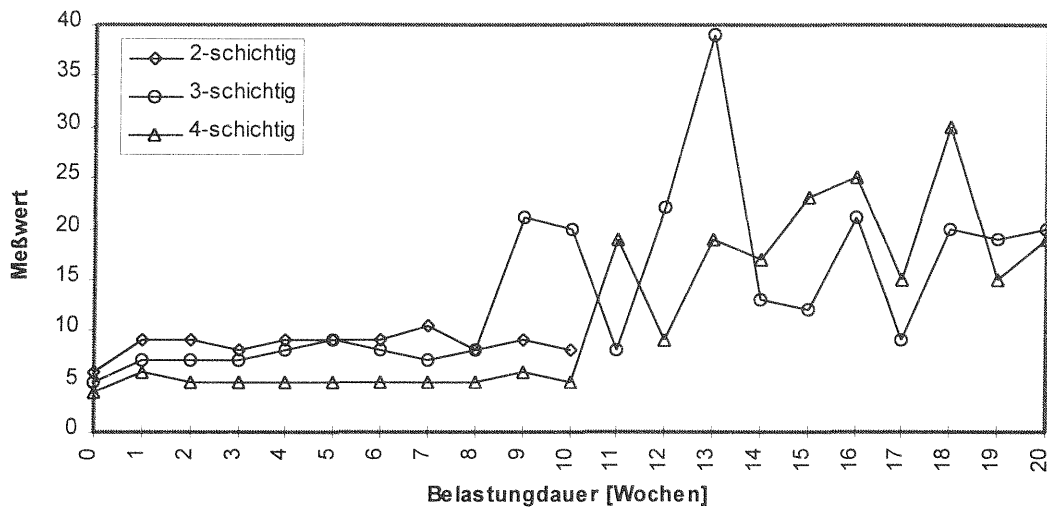


Bild 23: Einfluß der Belastungsdauer durch Salzsprühnebel auf den Meßwert. des 2-, 3- und 4- Schicht-PVC-Beschichtungssystems; Elektrolytlösung I.

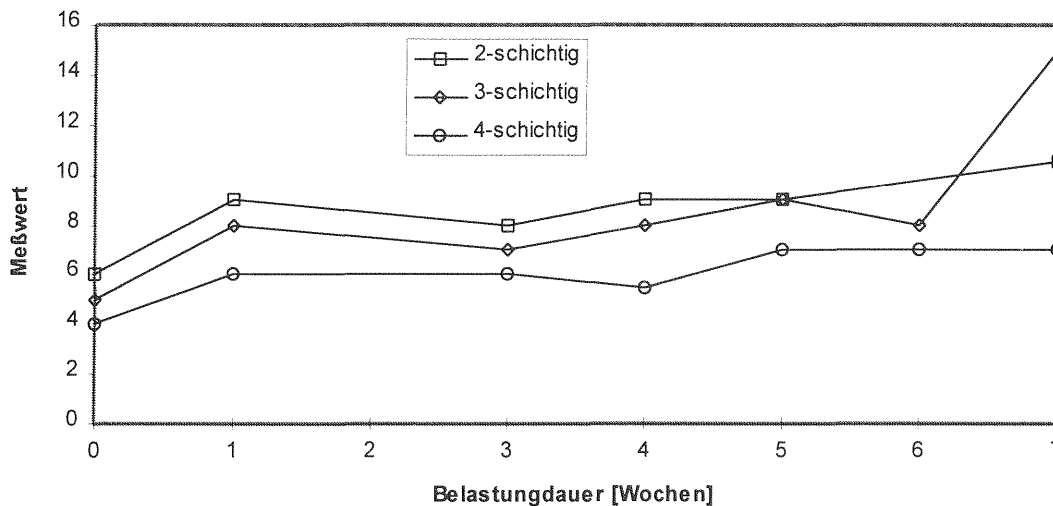


Bild 24: Einfluß der Belastungsdauer auf den Meßwert des 2-, 3- und 4- Schicht-EP/PUR-Beschichtungssystems; Elektrolytlösung I.

5 Schlußfolgerungen

Das untersuchte Meßverfahren ist nach den Ergebnissen der Laboruntersuchungen als brauchbar für die Bewertung von Beschichtungen, insbesondere von Altbeschichtungen, einzuschätzen. Da sich aber die Korrosionsbelastung der Beschichtungen an den Bauwerken von der Belastung im Labor bei Salzsprühnebel unterscheidet, sind weitere Untersuchungen vor Ort notwendig. Die Anwendung des Meßgerätes in der Praxis ist unproblematisch, weil die Meßeinrichtung klein und handlich ist. Die mit einem Magnet versehene Meßelektrode und der Nadelkontakt ermöglichen

auch die Messungen an den vertikalen Stegen, bzw. an den Unterseiten der orthotropen Platte.

Die Meßergebnisse sind wiederholbar. Die Zusammenhänge zwischen dem Meßwert und der Schichtdicke, bzw. der Belastungsdauer sind plausibel. Für jedes Beschichtungssystem wurde eine Kurve ermittelt, die die Alterung der Beschichtung bei der Salzsprühnebelbelastung beschreibt. Es ist bisher nicht gelungen, daraus einen Meßwert als Grenzwert anzugeben, ab dem die Beschichtung als undicht gilt und ein baldiges Versagen trotz gutem äußeren Aussehen zu erwarten ist. Die hier ermittelten Kurven haben die Form einer „Treppenfunktion“. Die Verschlechterung der Beschichtungsqualität, jedenfalls nach der Salzsprüh-

nebelbelastung, erfolgte sprunghaft. Die Meßwerte können in drei Kategorien eingestuft werden: niedrige, hohe und unzulässige Meßwerte. Die Meßwerte sind als niedrig einzustufen, wenn sie bei EP/PUR- und PVC-Beschichtungssystemen unter 100 liegen, bei 1 K PUR unter 250 (niedrige Meßwerte). Darüber hinausgehende hohe Meßwerte sind als Warnsignal zu verstehen, um möglicherweise Instandsetzungsmaßnahmen zu veranlassen. Bei Überschreitung des Meßbereiches (unzulässige Meßwerte) ist mit ungehindertem Elektrolytlösungsfluß zum Untergrund und einer baldigen Durch-, bzw. Unterrostung zu rechnen. Wie weit diese Ergebnisse auf die Praxis zu übertragen sind, ist in einem Folgeprojekt an Bauwerken mit unterschiedlichem Zustand und Alter der Beschichtung zu untersuchen.

Die Dauer der Messung beeinflusst den Meßwert. Aus diesen Gründen wurden die Meßwerte in Zeitabständen von 1 Minute, 10, 20 und teilweise 30, 40 und 50 Minuten abgelesen. Die niedrigen Meßwerte variierten mit der Dauer der Messung kaum, sie blieben niedrig. Die hohen Meßwerte variierten zwar stark, blieben aber während der Meßdauer hoch. Für die Bewertung von Altbeschichtungen reicht es daher aus, den Meßwert nach 1 Minute Meßdauer abzulesen. Für andere Untersuchungen, z.B. Quellbarkeit der Beschichtung, müßte der Einfluß der Meßdauer auf den Meßwert genauer untersucht werden.

Auch der Einfluß der Schichtdicken auf die Meßwerte sollte unter Praxisbedingungen festgestellt werden, da an Bauwerken oft bis zu dreifach höhere Schichtdicken als die, der unter Laborbedingungen hergestellten Probeplatten vorliegen.

Für weitere Untersuchungen vor Ort wird empfohlen, einige Parameter der Messungen aus den hier durchgeführten Untersuchungen festzulegen, z. B. die Elektrolytlösung I (NaCl) zu benutzen und nur die Prüfspannung von 10 V zu wählen und den Meßwert nach einer Minute Meßdauer abzulesen.

Die Ausführungen im Abschnitt 4.3 deuten darauf hin, daß das Meßverfahren auch bei der Entwicklung neuer Beschichtungen eine Anwendung finden kann, z.B. bei der Bestimmung eines Schichtdicken-Grenzwertes. Bei der Unterschreitung dieses Schichtdicken-Grenzwertes ist eine deutliche Verschlechterung der Beschichtungsqualität zu erwarten.

Weitere Anwendungen des Gerätes sind denkbar, müssen jedoch untersucht werden. Z.B. eine unzulässige Lösemittelzugabe, bzw. ein Überschuß von Härter müßten zu instabilen (stark rauschernden) Meßwerten führen, weil dann in der Beschichtung

eingebundene Molekülverbände vorhanden sind, die durch ihre wechselnde Lage in der Fehlstellenkapillare deren elektrisch wirksamen Querschnitt beeinflussen. Eine andere Anwendung besteht bei der Überprüfung der Reiniger für eine Oberflächenvorbereitung der Altbeschichtungen. Wenn eine Reinigerlösung, angewandt als Elektrolytlösung, bei diesem Meßverfahren erhöhte Meßwerte im Vergleich zu Meßwerten mit der Standardelektrolytlösung (z.B. Elektrolytlösung I) ergibt, würde das bedeuten, daß der Reiniger einen unerwünschten Einfluß auf die Beschichtung ausübt.

Zusammenfassung

Der Erfolg einer Teilerneuerung eines Korrosionsschutzsystems hängt in gleichem Maße sowohl von der entsprechenden Oberflächenvorbereitung und Anwendung geeigneter Beschichtungsstoffe bei der Instandsetzung als auch von der Art der Altbeschichtung und einer korrekten Bewertung ihres Zustandes ab.

Im Referat B1 der BAST war ein Meßverfahren für Betonoberflächen entwickelt worden, dessen Anwendung zur Prüfung von Beschichtungen auf metallischen Untergründen ebenfalls möglich erscheint. Das Meßverfahren kann als zerstörungsfrei eingestuft werden. Da es sich hier um einen neuen Einsatzbereich handelt, waren jedoch zur Abschätzung der Anwendung für eine Bewertung von Beschichtungen grundlegende, systematische Untersuchungen notwendig.

Das Meßverfahren beruht auf dem Prinzip der Leitung des elektrischen Stromes in Elektrolytlösungen. Der Meßwert ist proportional zu den Strompfaden in der Beschichtung. Bei einer Beschichtung, die dicht ist, ist der Ionenfluß erschwert, und der Meßwert bleibt klein. Bei einer Beschichtung, die Poren und Risse hat, ist der Meßwert entsprechend groß.

Für die Versuche wurden Platten angefertigt. Sie wurden bis zum Norm-Reinheitsgrad Sa 2½ gestrahlt und beschichtet. Als Beschichtungssysteme wurden die Beschichtungen mit den Bindemitteln: Polyvinylchlorid (PVC), 2-Komponenten-Epoxidharz/Polyurethan (EP/PUR) und 1-Komponenten-Polyurethan (1 K PUR) ausgewählt. Zwei Elektrolytlösungen wurden für die Messungen verwendet. Als künstliche Belastung der Beschichtungen wurde die Salzsprühnebelbelastung nach DIN 50021 - SS angewandt. Nach einigen Vorversuchen wurden 1,2 V und 10 V als Prüfspannungen gewählt. Die Messungen wurden vor der ersten Belastung und jeweils nach jeder 7-tägigen Dauerbelastung durchgeführt.

Das untersuchte Meßverfahren ist nach den Ergebnissen der Laboruntersuchungen als brauchbar für die Bewertung von Beschichtungen, insbesondere von Altbeschichtungen einzuschätzen. Da sich aber die Korrosionsbelastung der Beschichtungen an den Bauwerken von der Belastung im Labor bei Salzsprühnebel unterscheidet, sind weitere Untersuchungen vor Ort notwendig.

Die Meßergebnisse sind wiederholbar. Die Zusammenhänge zwischen dem Meßwert und der Schichtdicke, bzw. der Belastungsdauer sind plausibel. Für jedes Beschichtungssystem wurde eine Kurve ermittelt, die die Alterung der Beschichtung bei der Salzsprühnebelbelastung beschreibt. Es ist bisher nicht gelungen daraus einen Meßwert als Grenzwert anzugeben, ab dem die Beschichtung als undicht gilt und ein baldiges Versagen trotz gutem äußeren Aussehen zu erwarten ist. Die hier ermittelten Kurven haben die Form einer „Treppenfunktion“. Die Verschlechterung der Beschichtungsqualität, jedenfalls nach der Belastung im Salzsprühnebel, erfolgte sprunghaft. Die Meßwerte können in drei Kategorien eingestuft werden: niedrige, hohe und unzulässige Meßwerte. Die Meßwerte sind als niedrig einzustufen, wenn sie bei EP/PUR- und PVC-Beschichtungssystemen unter 100 liegen, bei 1 K PUR unter 250 (niedrige Meßwerte). Darüber hinausgehende hohe Meßwerte sind als Warnsignal zu verstehen, um möglicherweise Instandsetzungsmaßnahmen zu veranlassen. Bei Überschreitung des Meßbereiches (unzulässige Meßwerte) ist mit ungehinderter Elektrolytlösungsfluß zum Untergrund und einer baldigen Durch-, bzw. Unterrostung zu rechnen. Wie weit diese Ergebnisse auf die Praxis zu übertragen sind, ist in einem Folgeprojekt an Bauwerken mit unterschiedlichem Zustand und Alter der Beschichtungen noch zu untersuchen.

Auch der Einfluß der Schichtdicken auf die Meßwerte sollte unter Praxisbedingungen festgestellt werden, da an Bauwerken oft bis zu dreifach höhere Schichtdicken als die, der unter Laborbedingungen hergestellten Probenplatten vorliegen.

Für weitere Untersuchungen vor Ort wird empfohlen, einige Parameter der Messungen aus den hier durchgeführten Untersuchungen festzulegen, z. B. die Elektrolytlösung I (NaCl) zu benutzen und nur die Prüfspannung von 10 V zu verwenden und die Meßwerte nach einer Minute Meßdauer abzulesen.

Andere Anwendungen des Meßgerätes sind denkbar, müssen aber untersucht werden.

Literatur

- [1] ZTV-KOR 92
Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Korrosionsschutz von Stahlbauten; Verkehrsblatt-Verlag, Dortmund, 1992
- [2] DIN 53209
Bezeichnung des Blasengrades von Anstrichen; November 1970
- [3] DIN 53210
Bezeichnung des Rostgrades von Anstrichen und ähnlichen Beschichtungen; Februar 1978
- [4] DIN 53223
Prüfung von Anstrichstoffen und ähnlichen Beschichtungsstoffen; Vergleich des Kreidungsgrades von Anstrichen nach der Klebandmethode; Dezember 1973
- [5] DIN ISO 4628-4
Bezeichnung des Grades der Rißbildung; Dezember 1986
- [6] DIN EN ISO 2409
Lacke und Anstrichstoffe; Gitterschnittprüfung (ISO 2409: 1992) Deutsche Fassung EN ISO 2409: 1994; Oktober 1994
- [7] DIN EN 24624
Lacke und Anstrichstoffe; Abreißversuch zur Beurteilung der Haftfestigkeit (ISO 4624: 1971) Deutsche Fassung EN 24624: 1992; September 1992
- [8] B. Krieger, A. Maaß
Langzeituntersuchungen von Hydrophobierungsmitteln, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Brücken- und Ingenieurbau, Heft B 10
- [9] DIN 55928, Teil 4
Korrosionsschutz von Stahlbauten durch Beschichtungen und Überzüge; Vorbereitung und Prüfung der Oberflächen; Mai 1991
- [10] DB-TL 918300, Teil 2
Technische Lieferbedingungen für Anstrich- und ähnliches Beschichtungsmaterial vorwiegend für Stahlbauten; Oktober 1994; Deutsche Bahn AG, Zentralbereich Materialwirtschaft und Zentrale Dienste, Minden
- [11] DB-TL 918300, Teil 2, Blatt 77
Technische Lieferbedingungen; Beschichtungsmaterial auf PVC-Kombinationsgrundlage, Dezember 1992; Deutsche Bahn AG, Zentralbereich Materialwirtschaft und Zentrale Dienste, Minden
- [12] DB-TL 918300, Teil 2, Blatt 87
Technische Lieferbedingungen; Beschichtungsmaterial auf Epoxidharz- und Polyurethan-Grundlage, April 1994; Deutsche Bahn AG, Zentralbereich Materialwirtschaft und Zentrale Dienste, Minden
- [13] DB-TL 918300, Teil 2, Blatt 89
Technische Lieferbedingungen; Beschichtungsmaterial auf Polyurethan-Grundlage, luftfeuchtigkeitshärtend (1 K-PUR); April 1994; Deutsche Bahn AG, Zentralbereich Materialwirtschaft und Zentrale Dienste, Minden
- [14] DIN EN 23270
Lacke, Anstrichstoffe und deren Rohstoffe - Temperaturen und Luftfeuchten für Konditionierung und Prüfung (ISO 3270: 1984), deutsche Fassung EN 23270: September 1991
- [15] DIN 50021
Salzsprühnebel mit verschiedenen Natriumchlorid-Lösungen; Juni 1988
- [16] H. Groß
Salzablagerungen auf Korrosionsschutzbeschichtungen an Brückenuntersichten; Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik; Heft 405; 1983

